



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER  
*NONISOLATED TRANSFORMERLESS* DC - DC  
SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK PERALATAN  
*GROUND CONTROL STATION***

Achmad Arifian Rachman  
NRP 07111440000064

Dosen Pembimbing  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember





TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER  
*NONISOLATED TRANSFORMERLESS* DC - DC SEBAGAI  
CATU DAYA LISTRIK UNTUK PERALATAN *GROUND  
CONTROL STATION***

Achmad Arifian Rachman  
NRP 07111440000064

Dosen Pembimbing  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NONISOLATED  
TRANSFORMERLESS DC-DC CONVERTER AS POWER  
SUPPLY FOR GROUND CONTROL STATION UTILITY**

Achmad Arifian Rachman  
NRP 07111440000064

Supervisors  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER *NONISOLATED TRANSFORMERLESS DC-DC* SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK PERALATAN *GROUND CONTROL STATION***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Achmad Arifian Rachman  
07111440000064

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER  
NONISOLATED TRANSFORMERLESS DC-DC  
SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK  
PERALATAN GROUND CONTROL STATION**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 198006032006041003**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Sjamsjul Anam, MT.**  
**NIP. 196307251990031002**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER NONISOLATED TRANSFORMERLESS DC-DC SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK PERALATAN *GROUND CONTROL STATION***

Nama mahasiswa : Achmad Arifian Rachman  
Dosen Pembimbing I : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## **Abstrak:**

Sel surya merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Sel surya mampu mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Salah satu aplikasi sel surya adalah sebagai sumber energi pada pesawat tanpa awak. Pada penerapannya, pesawat tanpa awak di kontrol melalui GCS (*Ground Control Station*). GCS merupakan pusat kontrol yang ada di darat sebagai penyedia fasilitas untuk pengendalian pesawat tanpa awak. GCS terdiri atas beberapa peralatan seperti laptop, GPS, dan lain lain. Peralatan tersebut membutuhkan sumber listrik AC. Sedangkan percobaan penerbangan pesawat dilakukan di tanah lapang yang luas dan tentunya tidak ada sumber listrik AC dari PLN. Sementara itu, di tanah lapang terdapat sumber energi berupa sinar matahari yang melimpah. Agar sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan, dibutuhkan konverter DC-DC yang memiliki *gain* tinggi, serta inverter sebagai alat yang mengkonversikan listrik DC-AC untuk digunakan sebagai sumber listrik. Pada penelitian ini akan dirancang dan diimplementasikan konverter DC-DC beserta inverter 1 fasa dengan nilai tegangan 220 V. Konverter yang digunakan merupakan *nonisolated* dan *transformerless* yang pada implementasinya mampu menghasilkan rasio konversi sebesar 10 kali dengan duty cycle 78,9%. Dengan menerapkan topologi ini, maka dapat diperoleh tegangan *output* konverter sebesar 240 V dengan nilai tegangan *input* sebesar 24 V pada aplikasi PV. Efisiensi rata – rata hasil pengujian konverter sebesar 89,44%.

**Kata kunci:** *Gain* tinggi, GCS (*Ground Control Station*), Konverter *nonisolated transformerless* DC – DC

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NONISOLATED TRANSFORMERLESS DC-DC CONVERTER AS POWER SUPPLY FOR GROUND CONTROL STATION UTILITY**

Student Name : Achmad Arifian Rachman  
Supervisor I : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Supervisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## **Abstract:**

Solar cells are an environmentally friendly source of renewable energy. Solar cells are able to convert solar light energy into electrical energy. One application of solar cells is as an energy source on unmanned aircraft. Unmanned aircraft are controlled via GCS (Ground Control Station). GCS is an onshore control center providing facilities for unmanned drone control. GCS consists of several utilities such as laptops, GPS, and others. The equipment requires an AC power source. While the flight test aircraft conducted in a vast field and of course there is no AC power source from PLN. Meanwhile, in the field there is a source of energy in the form of abundant sunshine. In order for these energy sources to be utilized, a high-gain DC-DC converter is needed, as well as an inverter as a tool that converts DC-AC power for use as a power source. In this research will be designed and implemented DC-DC converter along with 1 phase inverter with a voltage value of 220 V. The converter used is nonisolated and transformerless which in its implementation can generate a conversion ratio of 10 times with a duty cycle of 78.9%. By applying this topology, we can obtain a 240 V converter output voltage with an input voltage value of 24 V in a PV application. The average efficiency of converter test results was 89.44%.

**Key Word:** GCS (Ground Control Station), High gain, Nonisolated transformerless DC – DC converter

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah ‘Azza Wa Jalla. Karena atas limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Desain Dan Implementasi Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC sebagai Catu Daya Listrik untuk Peralatan *Ground Control Station*”**. Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga penulis dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. “*khoirunnas anfa’uhum linnas*” sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lain. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh semangat dan kesungguhan agar penelitian ini dapat bermanfaat di masa yang akan datang, namun penulis menyadari bahwa buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan penelitian ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan penelitian ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu penulis yang selalu memberikan doa serta motivasi kepada penulis.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi B101 yang selalu memberikan support.
4. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2018

Achmad Arifian Rachman

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	4
<b>BAB 2 KONVERTER <i>NONISOLATED TRANSFORMERLESS</i></b>	
<b>    DC – DC SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK</b>	
<b>    PERALATAN <i>GROUND CONTROL STATION</i> .....</b>	<b>5</b>
2.1 Ground Control Station .....	5
2.2 Konverter Buck-Boost Konvensional.....	5
2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup.....	6
2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka .....	7
2.3 Konverter <i>Boost</i> Konvensional .....	8
2.3.1 Analisis Sakelar Tertutup.....	9
2.3.2 Analisis Sakelar Terbuka .....	9
2.4 Konverter Nonisolated Transformerless DC-DC.....	11
2.4.1 Analisis Rangkaian .....	11
2.4.2 Penurunan Persamaan Rasio Konversi Konverter	13
2.4.3 Penurunan Parameter Komponen .....	15
2.5 Inverter 1 Fasa.....	21
2.5.1 Analisis Penyalaan Sakelar Inverter .....	22
2.5.2 Penurunan Persamaan Inverter 1 Fasa <i>Square</i>	
<i>Wave</i> .....	23
2.5.3 Perhitungan Inverter 1 Fasa <i>Single Pulse</i> .....	24

<b>BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI.....</b>	<b>27</b>
3.1 Parameter Panel Surya .....	27
3.2 Desain Konverter Nonisolated Transformerless DC-DC....	28
3.2.1 Penentuan Rasio Konversi dan <i>Duty Cycle</i> .....	29
3.2.2 Penentuan Nilai Beban .....	30
3.2.3 Penentuan Nilai Kapasitor .....	31
3.2.4 Penentuan Nilai Induktor.....	32
3.2.5 Penentuan MOSFET .....	37
3.2.6 Penentuan Dioda .....	38
3.3 Simulasi Rangkaian Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC .....	38
3.4 Simulasi Inverter 1 Fasa.....	44
3.5 Implementasi Rangkaian Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC .....	45
<b>BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>48</b>
4.1 Alat Pengujian .....	49
4.2 Pengujian Sinyal dan Nilai Komponen.....	49
4.2.1 Pengujian Pensakelaran.....	49
4.2.2 Pengujian Arus Induktor $L_1$ , Induktor $L_2$ , dan Induktor $L_3$ .....	51
4.2.3 Pengujian Tegangan Kapasitor $C_1$ , Kapasitor $C_2$ , Kapasitor $C_3$ , dan Kapasitor $C_4$ .....	53
4.2.4 Pengujian Tegangan Dioda $D_1$ , Dioda $D_2$ , dan Dioda $D_3$ .....	55
4.2.5 Pengujian Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> Konverter .....	56
4.3 Pengujian Rasio Konversi .....	57
4.4 Pengujian Efisiensi Konverter.....	58
4.5 Pengujian Menggunakan Modul PV ( <i>Photovoltaic</i> ).....	58
4.6 Pengujian Inverter 1 Fasa <i>Single Pulse</i> .....	59
4.7 Pengujian Kondisi Dinamis.....	60
4.8 Pengujian pada Peralatan GCS .....	61
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>67</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Ground Control Station</i> [6].....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Rangkaian Konverter <i>Buck-Boost</i> Konvensional....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Rangkaian Konverter <i>Buck-Boost</i> Konvensional ketika Q tertutup.....	6
<b>Gambar 2.4</b>	Rangkaian Konverter <i>Buck-Boost</i> Konvensional ketika Q terbuka .....	7
<b>Gambar 2.5</b>	Rangkaian Konverter <i>Boost</i> Konvensional.....	8
<b>Gambar 2.6</b>	Rangkaian Konverter <i>Boost</i> saat Q Tertutup .....	9
<b>Gambar 2.7</b>	Rangkaian Konverter <i>Boost</i> saat Q Terbuka.....	10
<b>Gambar 2.8</b>	Rangkaian Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC.....	11
<b>Gambar 2.9</b>	Rangkaian Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC ketika Q tertutup.....	12
<b>Gambar 2.10</b>	Rangkaian Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC ketika Q terbuka .....	13
<b>Gambar 2.11</b>	Rangkaian Inverter 1 Fasa .....	21
<b>Gambar 2.12</b>	Rangkaian Inverter 1 Fasa saat Q <sub>1</sub> dan Q <sub>4</sub> Aktif.....	22
<b>Gambar 2.13</b>	Rangkaian Inverter 1 Fasa saat Q <sub>2</sub> dan Q <sub>3</sub> Aktif.....	22
<b>Gambar 2.14</b>	(a) Gelombang Penyalaan Q <sub>1</sub> dan Q <sub>4</sub> . (b) Gelombang Penyalaan Q <sub>2</sub> dan Q <sub>3</sub> . (c) Gelombang Tegangan Output .....	23
<b>Gambar 2.15</b>	Penyalaan untuk Sakelar Q1-Q4 (a). Bentuk Gelombang Inverter <i>Single Pulse</i> (b). .....	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Blok Rangkaian Konverter <i>Nonisolated</i> <i>Transformerless</i> DC-DC.....	27
<b>Gambar 3.2</b>	Grafik Penguatan Tegangan pada Konverter .....	29
<b>Gambar 3.3</b>	Skema simulasi Rangkaian Konverter <i>Nonisolated</i> <i>Transformerless</i> DC-DC.....	39
<b>Gambar 3.4</b>	Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> , Tegangan <i>Drain-Source</i> , dan Arus <i>Drain-Source</i> ..	40
<b>Gambar 3.5</b>	Bentuk Gelombang Arus Induktor L <sub>1</sub> , Arus Induktor L <sub>2</sub> , dan Arus Induktor L <sub>3</sub> .....	41

<b>Gambar 3.6</b>	Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor $C_1$ , Kapasitor $C_2$ , Kapasitor $C_3$ , dan Kapasitor $C_4$ .....	42
<b>Gambar 3.7</b>	Bentuk Gelombang Tegangan Dioda $D_1$ , Dioda $D_2$ , dan Dioda $D_3$ .....	43
<b>Gambar 3.8</b>	Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> .....	44
<b>Gambar 3.9</b>	Bentuk Gelombang $V_{out}$ dan $V_{in}$ dari Inverter .....	45
<b>Gambar 3.10</b>	Implementasi konverter <i>nonisolated transformerless</i> DC – DC.....	46
<b>Gambar 3.12</b>	Komponen induktor dan beban resistif yang digunakan .....	47
<b>Gambar 3.13</b>	Pesawat yang Digunakan untuk Pengujian PV, serta Implementasi Konverter dan Inverter dengan Beban Resistor.....	47
<b>Gambar 4.1</b>	Bentuk Gelombang Tegangan <i>Drain-Source</i> , tegangan <i>Gate-Source</i> , dan Arus <i>Drain-Source</i> pada Implementasi .....	50
<b>Gambar 4.2</b>	Bentuk Gelombang Arus Induktor $L_1$ .....	51
<b>Gambar 4.3</b>	Bentuk Gelombang Arus Induktor $L_2$ .....	52
<b>Gambar 4.4</b>	Bentuk Gelombang Arus Induktor $L_3$ .....	52
<b>Gambar 4.5</b>	Bentuk Gelombang Kapasitor $C_1$ dan Kapasitor $C_2$ .....	54
<b>Gambar 4.6</b>	Bentuk Gelombang Kapasitor $C_3$ dan Kapasitor $C_4$ .....	54
<b>Gambar 4.7</b>	Bentuk Gelombang Tegangan Dioda $D_1$ , Dioda $D_2$ , dan Dioda $D_3$ .....	55
<b>Gambar 4.8</b>	Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> .....	56
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Rasio Konversi Konverter <i>Nonisolated Transformerless</i> DC-DC .....	57
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Efisiensi dan <i>Rating Daya</i> .....	58
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Pengujian Menggunakan Modul PV .....	59
<b>Gambar 4.12</b>	Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> dan Tegangan <i>Output</i> Inverter 1 Fasa <i>Single Pulse</i> .....	60
<b>Gambar 4.13</b>	Pengujian tegangan input dinamis .....	61
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil pengujian dengan beban laptop .....	62
<b>Gambar 4.15</b>	Pengujian dengan beban laptop .....	62

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan $V_{in}$ dan $V_{out}$ pada nilai <i>duty cycle</i> tertentu .....	8
<b>Tabel 3.1</b> Desain Awal Rangkaian.....	28
<b>Tabel 3.2</b> Rasio Konversi pada Konverter.....	29
<b>Tabel 3.3</b> Parameter pada Inti Induktor $L_1$ [9].....	35
<b>Tabel 3.4</b> Parameter pada Inti Induktor $L_2$ dan Induktor $L_3$ [10] .....	35
<b>Tabel 3.5</b> Parameter Komponen Konverter .....	46

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan kemajuan teknologi, hampir segala kendaraan memanfaatkan sel surya. Pengalihan dari sumber energi fosil ke sumber energi terbarukan tak lepas dari pengaruh *global warming* yang ditandai dengan meningkatnya emisi karbon dioksida [1]. Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, sel surya merupakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi [2]. Untuk itu, sel surya juga diaplikasikan pada pesawat tanpa awak sebagai sumber energi.

Dalam beberapa tahun terakhir, semakin banyak perlombaan dalam kancah UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Begitu pula dengan ITS, yang memiliki tim BAYU CARAKA, yang pada tahun Oktober 2017 bertindak sebagai tuan rumah. Percobaan penerbangan pesawat tanpa awak dilakukan di tanah lapang yang luas dan tentunya tidak ada sumber listrik AC dari PLN. Biasanya saat melakukan percobaan penerbangan pesawat, lebih dari satu pesawat di bawa ke tanah lapang dengan tujuan efektifitas waktu. Kemudian dari sekian banyak pesawat yang dibawa, hanya satu pesawat saja yang diterbangkan. Sehingga terdapat beberapa pesawat yang *off* atau tidak diterbangkan.

Pesawat yang diterbangkan membutuhkan pusat kontrol, *Ground Control Station* (GCS), sebagai sarana *monitoring* dan kontrol. GCS membutuhkan sumber listrik AC sebagai sumber daya GCS sendiri. Sumber listrik AC tersebut dapat diperoleh dengan memanfaatkan baterai pesawat yang terhubung sel surya (PV) pada pesawat yang *off* (sedang tidak diterbangkan). Namun, tegangan yang dihasilkan baterai tidak begitu tinggi, sedangkan tegangan kerja dari GCS lebih tinggi dari tegangan baterai pesawat. Jika langsung disuplai dengan baterai pesawat, tegangan yang dihasilkan tidak akan bisa memenuhi tegangan kerja dari peralatan GCS tersebut. Sehingga dibutuhkan konverter *boost* yang mampu memberikan nilai output tegangan yang lebih besar agar mencapai tegangan yang diinginkan. Namun, penggunaan konverter konvensional untuk menaikkan tegangan input kurang efektif karena *gain* operasi yang dihasilkan hanya 2-3 kali nilai inputnya [3]. Sehingga belum memenuhi tegangan keluaran yang diinginkan.

Oleh karena itulah untuk implementasi baterai pesawat sebagai catu daya untuk peralatan GCS diperlukan konverter dengan nilai *gain* tinggi yaitu konverter *nonisolated transformerless* DC-DC dengan inverter 1 fasa. Pada penelitian ini, diharapkan topologi ini mampu memenuhi kebutuhan konverter yang mampu memberikan tegangan yang diinginkan.

## 1.2 Permasalahan

GCS adalah pusat kontrol dari pesawat tanpa awak yang membutuhkan sumber energi listrik untuk proses pengisian dayanya. Pada saat percobaan pesawat yang dilakukan di tengah lapangan, tidak ada sumber listrik PLN yang tersedia, padahal terdapat sumber energi yang di dapat dari pesawat yang sedang *off* (sedang tidak diterbangkan). Dengan memanfaatkan energi dari pesawat yang sedang tidak diterbangkan, dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui PV sehingga mampu dijadikan sebagai catu daya untuk GCS.

## 1.3 Tujuan

Tujuan penulisan penelitian ini adalah:

1. Mendesain dan mengimplementasikan konverter *nonisolated transformerless* DC-DC dengan inverter *square wave* 1 fasa
2. Membandingkan dan menganalisa hasil konverter *nonisolated transformerless* DC-DC dengan hasil desain dan simulasi pada perangkat lunak

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat pada pasaran dan peralatan di laboratorium konversi energi listrik.
2. Pengujian alat menggunakan sumber tegangan DC *variable*, osiloskop tektronix dan beban resistor yang terdapat pada laboratorium.
3. Semua analisis dan perhitungan dilakukan dalam kondisi *steady state*.



## 1.5 Metodologi

### 1. Studi Pustaka

Memahami cara kerja dari konverter dengan topologi baru yang disebut dengan *Novel Structure* dengan 1 *switch nonisolated* dan *transformerless*.

### 2. Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan untuk mendapatkan topologi *Novel* ini dengan menggunakan berbagai komponen seperti 1 buah MOSFET, 3 buah dioda, 3 buah induktor, 4 buah kapasitor dan 1 buah kapasitor output.

### 3. Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* PSIM untuk menghitung parameter-parameter rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC.

### 4. Pembuatan Alat

Setelah didapatkan model topologi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC, maka proses selanjutnya adalah membuat alat dengan parameter rangkaian sesuai dengan parameter yang telah dimodelkan dan disimulasikan.

### 5. Pengujian Alat

Proses pengujian alat dilakukan guna mengukur kinerja alat yang telah dibuat. Hasil yang di dapat akan dibandingkan dengan hasil pemodelan dan simulasi yang telah dilakukan pada proses sebelumnya. Parameter yang diukur antara lain, gain tegangan keluaran, bentuk sinyal arus dan tegangan pada komponen, efisiensi konversi, dan pengujian pada kondisi dinamis.

### 6. Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian, maka akan dilakukan analisis terhadap data-data yang telah didapatkan. Akan dilakukan analisis mengenai gain tegangan keluaran, bentuk sinyal arus dan tegangan dari komponen, efisiensi konversi, dan pengujian konverter pada kondisi dinamis, antara alat yang telah dibuat dengan hasil pemodelan dan simulasi.

### 7. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang konverter DC-DC topologi *buck-boost* dan topologi baru konverter *nonisolated transformerless* DC-DC.

Bab 3 : Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini membahas mengenai perancangan konverter *nonisolated transformerless* DC-DC secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC sebagai catu daya GCS.

Bab 4 : Pengujian dan Analisis Data

Bab ini membahas mengenai perancangan konverter *nonisolated transformerless* DC-DC secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Menjadi referensi untuk penelitian dan pengembangan konverter, khususnya mengenai konverter *nonisolated transformerless* DC-DC untuk catu daya untuk peralatan GCS.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang hendak mengambil masalah serupa untuk penelitian.

## **BAB 2**

### **KONVERTER *NONISOLATED TRANSFORMERLESS* DC – DC SEBAGAI CATU DAYA LISTRIK UNTUK PERALATAN *GROUND CONTROL STATION***

#### **2.1 Ground Control Station**

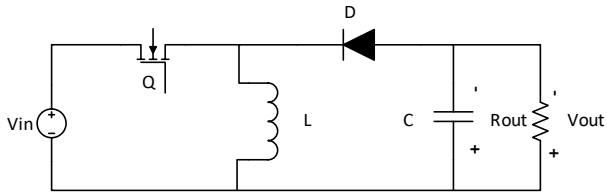
*Ground Control Station* (GCS), merupakan sistem untuk mengendalikan dan memantau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau drone dari daratan [5]. GCS yang biasa digunakan terdiri dari laptop dan radio telemetry. Laptop berfungsi sebagai alat pengendali serta pemantau untuk pesawat tersebut. Radio telemetry berfungsi sebagai penangkap segala informasi yang dikirimkan oleh pesawat UAV tersebut.



**Gambar 2.1** *Ground Control Station* [6]

#### **2.2 Konverter Buck-Boost Konvensional**

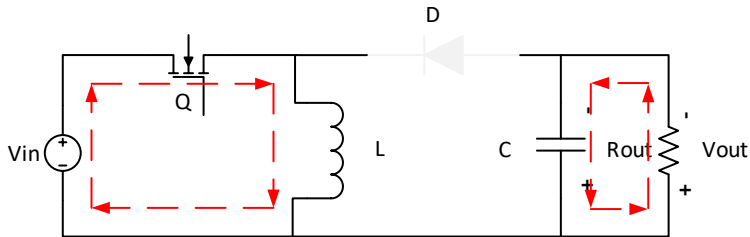
Konverter *buck-boost* merupakan jenis konverter yang mampu menurunkan dan menaikkan tegangan dari tegangan masukan yang digunakan untuk menjaga tegangan pada suatu nilainya [1]. Konverter ini memiliki kemampuan menaikkan tegangan namun tidak menaikkan secara *high-gain*. Konverter ini terdiri dari tegangan masukan, sakelar semikonduktor, induktor, dioda, kapasitor, dan beban [4]. Rangkaian konverter *buck-boost* konvensional ditunjukkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Rangkaian Konverter *Buck-Boost* Konvensional

### 2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup

Pada saat sakelar Q konduksi, dioda dalam keadaan dalam keadaan *reverse biased*. Arus dari tegangan masukan akan mengalir melalui sakelar, induktor, lalu kembali menuju ke sumber tegangan dc.



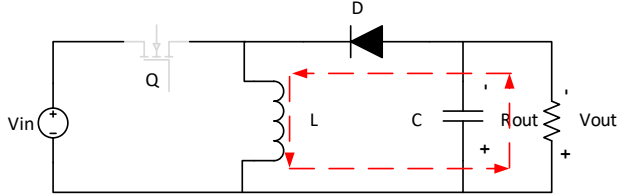
**Gambar 2.3** Rangkaian Konverter *Buck-Boost* Konvensional ketika Q tertutup

Gambar 2.3. diatas menunjukkan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar Q konduksi. Persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian diatas adalah:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= V_L \\
 V_{in} &= L \frac{dI}{dt} \\
 V_{in} &= L \frac{\Delta I}{t_{on}} \\
 L \Delta I &= V_{in} t_{on}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

### 2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka

Analisis ketika Q terbuka, dioda dalam keadaan *forward biased*. Induktor L mengalami mode *discharge* dan arus menuju beban lalu dioda dan kembali lagi menuju induktor.



**Gambar 2.4** Rangkaian Konverter *Buck-Boost* Konvensional ketika Q terbuka

Gambar 2.4. diatas menunjukkan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar Q terbuka. Persamaan yang di dapat dari rangkaian tersebut adalah:

$$\begin{aligned} -V_O &= V_L \\ -V_O &= L \frac{dI}{dt} \\ -V_O &= L \frac{\Delta I}{t_{off}} \\ L \Delta I &= -V_O t_{off} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Pada persamaan 2.1 dan 2.2 dapat disubstitusikan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$V_{in} t_{on} = -V_O t_{off} \quad (2.3)$$

Pada persamaan 2.3 terdapat variabel  $t_{on}$  dan  $t_{off}$  yang dapat disubstitusikan menjadi persamaan seperti berikut:

$$\begin{aligned} \frac{t_{on}}{T} &= D \\ t_{on} &= DT \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{t_{off}}{T} &= 1-D \\ t_{off} &= (1-D)T \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dari persamaan 2.4 dan 2.5 dapat disubstitusikan pada persamaan 2.3, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{in} DT &= -V_O (1-D)T \\ -V_O &= V_{in} \frac{D}{1-D} \end{aligned} \quad (2.6)$$

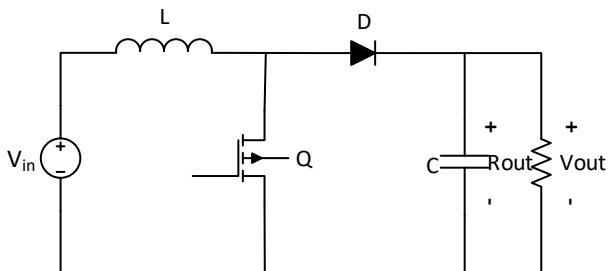
Didapatkan persamaan 2.6 yang merupakan persamaan nilai tegangan *output* dari konverter *buck – boost*. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan rasio konversi dari konverter tersebut. Nilai tegangan *output* bergantung dari nilai *duty cycle*. Hal ini dijelaskan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Perbandingan  $V_{in}$  dan  $V_{out}$  pada nilai *duty cycle* tertentu

<i>Duty Cycle</i>	Kedaaan $V_{in}$ dan $V_{out}$
$0 \leq D < 0.5$	$V_{in} > V_{out}$
$D = 0.5$	$V_{in} = V_{out}$
$0.5 < D < 1$	$V_{in} < V_{out}$

### 2.3 Konverter *Boost* Konvensional

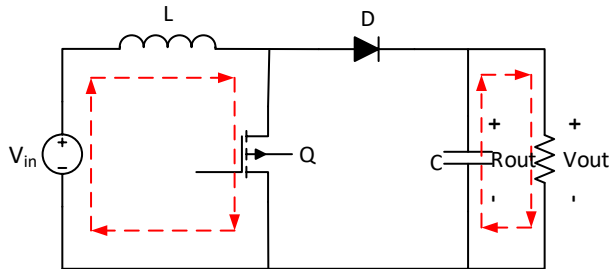
Konverter *boost* konvensional merupakan jenis konverter yang mampu menaikkan tegangan keluaran menjadi lebih tinggi. Konverter ini memiliki komponen yang sama dengan konverter *buck-boost* konvensional namun memiliki topologi yang berbeda. Konverter ini terdiri dari tegangan masukan, sakelar semikonduktor, induktor, dioda, kapasitor, dan beban [4]. Rangkaian konverter *boost* konvensional ditunjukkan oleh gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Rangkaian Konverter *Boost* Konvensional

### 2.3.1 Analisis Sakelar Tertutup

Pada saat sakelar Q konduksi, induktor akan dihubungkan-singkatkan dengan tegangan sumber. Seluruh arus dapat diasumsikan mengalir ke arah negatif sumber, sehingga arus pada beban dapat diabaikan.



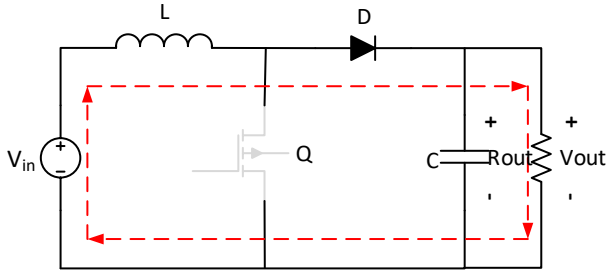
**Gambar 2.6** Rangkaian Konverter *Boost* saat Q Tertutup

Gambar 2.6 merupakan rangkaian konverter *boost* saat kondisi sakelar Q tertutup. Dari gambar tersebut didapatkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{in} &= V_L \\ V_{in} &= L \frac{dI}{dt} \\ V_{in} &= L \frac{\Delta I}{t_{on}} \\ L \Delta I &= V_{in} t_{on} \end{aligned} \quad (2.7)$$

### 2.3.2 Analisis Sakelar Terbuka

Pada saat sakelar Q terbuka, tegangan sumber akan terangkai seri terhadap induktor dan beban. Induktor yang awalnya mengalami mode pengisian, pada saat sakelar terbuka induktor mengalami mode pengosongan arus.



**Gambar 2.7** Rangkaian Konverter *Boost* saat Q Terbuka

Gambar 2.7 merupakan rangkaian konverter *boost* saat kondisi sakelar Q terbuka. Saat kondisi ini, induktor berfungsi sebagai sumber, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= V_L + V_O \\
 V_{in} &= L \frac{dI}{dt} + V_O \\
 V_{in} &= L \frac{\Delta I}{t_{off}} + V_O
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Dari kedua persamaan saat sakelar tertutup dan terbuka, persamaan 2.7 disubstitusikan pada persamaan 2.8 yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= V_{in} \frac{t_{on}}{t_{off}} + V_O \\
 V_O &= V_{in} \left( 1 - \frac{t_{on}}{t_{off}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

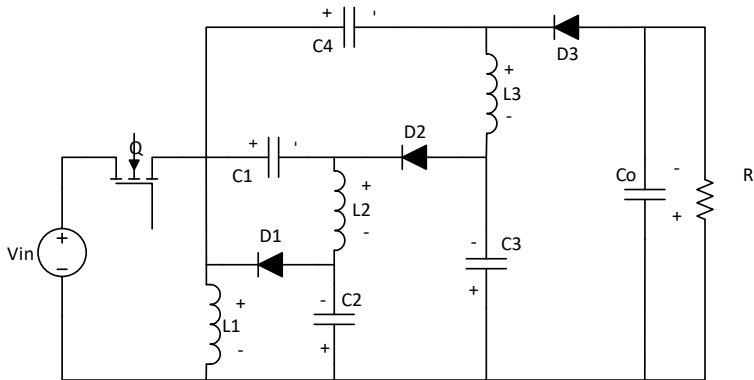
Dari persamaan 2.4 dan 2.5 dapat disubstitusikan ke persamaan 2.9 sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_O &= V_{in} \left( 1 - \frac{D}{1-D} \right) \\
 V_O &= V_{in} \left( \frac{1}{1-D} \right)
 \end{aligned} \tag{2.10}$$



## 2.4 Konverter Nonisolated Transformerless DC-DC

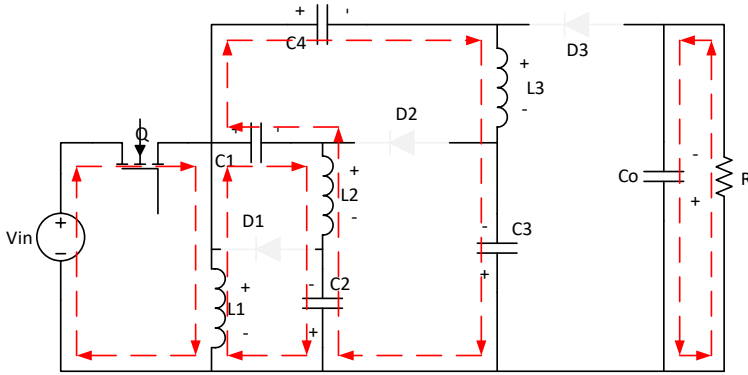
Konverter *nonisolated transformerless* DC-DC tergolong struktur topologi *novel* yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Konverter ini merupakan modifikasi dari *buck-boost* konvensional yang memiliki kelebihan nilai gain yang lebih tinggi dari konverter *buck-boost* konvensional [1]. Rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC ditunjukkan pada gambar 2.7.



**Gambar 2.8** Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

### 2.4.1 Analisis Rangkaian

Saat sakelar Q tertutup, dioda D1, D2, dan D3 dalam keadaan *reverse biased*. Induktor L1, L2, dan L3 akan termagnetisasi secara linier. Dan untuk kapasitor C1 dan C4 mengalami proses *charging* oleh kapasitor C2 dan C3.



**Gambar 2.9** Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC ketika Q tertutup

Gambar 2.9 menunjukkan rangkaian ekuivalen konverter saat sakelar tertutup, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

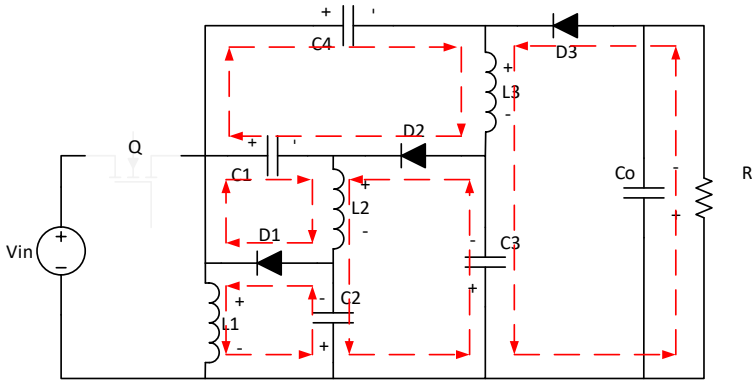
$$V_{L1} = V_{in} \quad (2.11)$$

$$V_{L2} = V_{C2} - V_{C1} + V_{in} \quad (2.12)$$

$$V_{L3} = V_{C3} - V_{C4} + V_{in} \quad (2.13)$$

Ketika terjadi pengisian (termagnetisasi) pada induktor L1, L2, dan L3, arus dari ketiga induktor ini mengalami kenaikan dari  $I_{L1_{min}}$ ,  $I_{L2_{min}}$ , dan  $I_{L3_{min}}$  hingga  $I_{L1_{max}}$ ,  $I_{L2_{max}}$ , dan  $I_{L3_{max}}$ . Adanya perubahan arus pada ketiga induktor tersebut dapat disebut *ripple* arus ( $\Delta I$ ) induktor.

Saat sakelar Q terbuka, dioda D1, D2, dan D3 dalam keadaan *forward biased*. Induktor L1, L2, dan L3 mengalami fase *demagnetisasi* secara linier. Kapasitor C2 mengalami proses *charging* oleh induktor L1, sedangkan kapasitor C3 mengalami proses *charging* oleh induktor L1 dan L2. Kapasitor C1 dan C4 mengalami proses *discharging*.



**Gambar 2.10** Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC ketika Q terbuka

Gambar 2.10 merupakan rangkaian ekuivalen konverter saat sakelar terbuka, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{L1} = -V_{C2} \quad (2.14)$$

$$V_{L2} = -V_{C1} = V_{C2} - V_{C3} \quad (2.15)$$

$$V_{L3} = V_{C1} - V_{C4} = V_{C3} - V_O \quad (2.16)$$

### 2.4.2 Penurunan Persamaan Rasio Konversi Konverter

Penurunan persamaan rasio konversi dilakukan dalam kondisi *continuous conduction mode* (CCM) atau arus induktor  $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ , dan  $I_{L3}$  dalam keadaan selalu kontinyu (tidak menyentuh nilai arus nol).

Dari persamaan 2.11 – 2.16, dengan menerapkan metode *voltage second balance* pada tiap induktor, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} V_{in} dt + \int_{DT_s}^{T_s} (-V_{C2}) dt \right) = 0$$

$$V_{in} \cdot D + V_{C2} \cdot D - V_{C2} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} (V_{C2} - V_{C1} + V_{in}) dt + \int_{DT_s}^{T_s} (-V_{C1}) dt \right) = 0$$

$$V_{C2} \cdot D + V_{in} \cdot D - V_{C1} = 0 \quad (2.18)$$

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} (V_{c3} - V_{c1} + V_{in}) dt + \int_{DT_s}^{T_s} (V_{c1} - V_{c4}) dt \right) = 0$$

$$V_{C3} \cdot D + V_{in} \cdot D + V_{C1} - V_{C4} - V_{C1} \cdot D = 0 \quad (2.19)$$

Dari persamaan 2.15 dan 2.17 – 2.19, persamaan 2.15, 2.17, dan 2.18 dapat disederhanakan dan setelah didapatkan hasilnya dapat disubstitusikan pada persamaan 2.19 sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{C2} - V_{C2} \cdot D = V_{in} \cdot D$$

$$V_{C2} \cdot (1 - D) = V_{in} \cdot D$$

$$V_{C2} = V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.20)$$

$$V_{C1} = V_{C2} \cdot D + V_{in} \cdot D$$

$$= V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} D + V_{in} \cdot D$$

$$V_{C1} = V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.21)$$

$$V_{C3} = V_{C1} + V_{C2}$$

$$= V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} + V_{in} \cdot \frac{D}{1-D}$$

$$V_{C3} = 2 V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.22)$$

$$V_{C4} = V_{C3} \cdot D + V_{in} \cdot D + V_{C1} - V_{C1} \cdot D$$

$$= V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} D + V_{in} \cdot D + V_{in} \cdot \frac{D}{1-D}$$

$$V_{C4} = 2 V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.23)$$

Dengan diketahuinya beberapa persamaan diatas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.24)$$

$$V_{C3} = V_{C4} = 2 V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (2.25)$$

Dari persamaan 2.24 dan 2.25, maka didapatkan persamaan gain. Didapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{V_{in}} &= \frac{V_{C4} + V_{C3} - V_{C1}}{V_{in}} \\ &= \frac{\frac{4V_{in} \cdot D}{1-D} - \frac{V_{in} \cdot D}{1-D}}{V_{in}} \\ M &= \frac{3D}{1-D} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Persamaan 2.26 merupakan persamaan untuk menentukan rasio konversi dari konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Besar tegangan keluaran ditentukan nilai *duty* yang nilainya antara 0-1. Pada *duty* 0.25, rasio konversi yang dihasilkan adalah 1, sehingga jika ingin dioperasikan *high-gain* dibutuhkan nilai *duty* diatas 0.25.

### 2.4.3 Penurunan Parameter Komponen

Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC memiliki parameter komponen yang perlu ditentukan nilainya. Parameter komponen yang perlu ditentukan antara lain nilainya yaitu, induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , induktor  $L_3$ , kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , kapasitor  $C_4$ , kapasitor  $C_o$  dan resistor  $R_o$ .

Pada penelitian ini, perhitungan nilai induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  ditentukan melalui mode sakelar Q tertutup dengan persamaan 2.11 hingga persamaan 2.13.

Perhitungan nilai induktor  $L_1$  didapatkan dengan penurunan persamaan 2.11 seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} V_{L1} &= V_{in} \\ L_1 \cdot \frac{di}{dt_{on}} &= V_{in} \\ L_1 \cdot \frac{\Delta i}{t_{on}} &= V_{in} \end{aligned}$$

Dengan adanya nilai  $t_{on}$ , dapat disubstitusikan dengan persamaan 2.4, sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_1 &= V_{in} \cdot \frac{DT}{\Delta I} \\ L_1 &= V_{in} \cdot \frac{D}{\Delta I_{L1} \cdot f_s} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Untuk menghitung nilai induktor  $L_2$ , digunakan persamaan 2.12, sehingga didapatkan persamaan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} V_{L2} &= V_{C2} - V_{C1} + V_{in} \\ V_{L2} &= V_{in} \\ L_2 \cdot \frac{di}{dt_{on}} &= V_{in} \\ L_2 \cdot \frac{\Delta i}{t_{on}} &= V_{in} \\ L_2 &= V_{in} \cdot \frac{DT}{\Delta I} \\ L_2 &= V_{in} \cdot \frac{D}{\Delta I_{L2} \cdot f_s} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Nilai tegangan  $V_{C2}$  dan  $V_{C1}$  adalah sama berdasarkan persamaan 2.24, maka nilai tersebut dapat dihilangkan sehingga didapatkan persamaan 2.28. Untuk menghitung nilai induktor  $L_3$ , digunakan persamaan 2.13, sehingga didapatkan persamaan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} V_{L3} &= V_{C3} - V_{C4} + V_{in} \\ V_{L3} &= V_{in} \\ L_3 \cdot \frac{di}{dt_{on}} &= V_{in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_3 \cdot \frac{\Delta i}{t_{on}} &= V_{in} \\
L_3 &= V_{in} \cdot \frac{DT}{\Delta I} \\
L_3 &= V_{in} \cdot \frac{D}{\Delta I_{L3} \cdot f_s} \quad (2.29)
\end{aligned}$$

Nilai tegangan  $V_{C3}$  dan  $V_{C4}$  adalah sama berdasarkan persamaan 2.25, maka nilai tersebut dapat dieliminasi sehingga didapatkan persamaan 2.29.

Dalam penentuan nilai kapasitor, didapatkan dari persamaan nilai arus kapasitor saat kondisi sakelar tertutup. Persamaan arus kapasitor saat keadaan sakelar tertutup maupun terbuka didapatkan dari analisis rangkaian pada gambar 2.8 dan gambar 2.9. Pada saat kondisi sakelar tertutup, didapatkan persamaan arus rata-rata sebagai berikut:

$$I_{Co, on} = -I_o \quad (2.30)$$

$$I_{C1, on} = -I_{C2, on} = I_{L2} \quad (2.31)$$

$$-I_{C3, on} = I_{C4, on} = I_{L3} \quad (2.32)$$

Selain saat kondisi sakelar tertutup, nilai arus rata-rata juga didapatkan dari kondisi terbuka sebagai berikut:

$$I_{C1, off} = I_{L2} - I_{C3, off} - I_{L3} \quad (2.33)$$

$$I_{C4, off} = I_{L3} - I_{Co, off} - I_o \quad (2.34)$$

Dari persamaan 2.30 hingga 2.34, dengan menerapkan metode *current second balance* pada kapasitor  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , dan  $C_o$  didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{C1,2,3,4,o,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{C1,2,3,4,o,off} dt \right) = 0 \quad (2.35)$$

Dari persamaan diatas, dengan metode *current second balance* arus pada seluruh kapasitor sama dengan nol. Dengan mensubstitusikan persamaan 2.27 hingga 2.31 pada persamaan 2.32, didapatkan:

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{C1,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{C1,off} dt \right) = 0$$

Integral pertama berlangsung saat sakelar dalam keadaan tertutup (*ON*) yaitu pada rentang waktu nilai 0 hingga  $DT_s$ . Integral kedua berlangsung pada saat sakelar dalam keadaan terbuka (*OFF*) yaitu pada rentang waktu  $DT_s$  hingga  $T_s$ . Setelah diintegralkan, nilai  $T_s$  dapat dieliminasi sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{C1,on} \cdot D + (1 - D)I_{C1,off} &= 0 \\
I_{L2} \cdot D + (1 - D)(I_{L2} - I_{C3,off} - I_{L3}) &= 0 \\
I_{L2} - I_{C3,off}(1 - D) - I_{L3}(1 - D) &= 0 \quad (2.36)
\end{aligned}$$

Agar persamaan 2.36 menjadi lebih sederhana, persamaan arus kapasitor  $C_3$  perlu dicari terlebih dahulu. Sebelum menurunkan persamaan arus kapasitor  $C_3$ , diturunkan persamaan arus kapasitor  $C_2$ .

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{C2,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{C2,off} dt \right) = 0$$

Dengan metode yang sama seperti penurunan persamaan 2.36, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{C2,on} \cdot D + (1 - D)I_{C2,off} &= 0 \\
-I_{L2} \cdot D + (1 - D)I_{C2,off} &= 0 \\
(1 - D)I_{C2,off} &= I_{L2} \cdot D \\
I_{C2,off} &= \frac{I_{L2} \cdot D}{1 - D} \quad (2.37)
\end{aligned}$$

Persamaan arus kapasitor  $C_2$  pada saat sakelar terbuka (*OFF*) didapatkan pada persamaan 2.37.

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{C3,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{C3,off} dt \right) = 0$$

Dengan metode yang sama seperti penurunan persamaan 2.36 dan 2.37 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{C3,on} \cdot D + (1 - D)I_{C3,off} &= 0 \\
-I_{L3} \cdot D + (1 - D)I_{C3,off} &= 0 \\
(1 - D)I_{C3,off} &= I_{L3} \cdot D \\
I_{C3,off} &= \frac{I_{L3} \cdot D}{1 - D} \quad (2.38)
\end{aligned}$$

Persamaan arus kapasitor  $C_3$  pada saat sakelar terbuka (*OFF*) didapatkan pada persamaan 2.38. Persamaan ini dapat disubstitusikan pada persamaan 2.36 sehingga persamaan tersebut menjadi lebih sederhana.

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{C4,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{C4,off} dt \right) = 0$$

Dengan metode yang sama seperti penurunan persamaan 2.36, 2.37 dan 2.38 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$I_{C4,on} \cdot D + (1 - D)I_{C4,off} = 0$$



$$\begin{aligned}
I_{L3} \cdot D + (1 - D)(I_{L3} - I_{Co,off} - I_o) &= 0 \\
I_{L3} - (1 - D)I_{Co,off} - (1 - D)I_o &= 0 \quad (2.39)
\end{aligned}$$

Agar persamaan 2.39 menjadi lebih sederhana, persamaan arus kapasitor  $C_3$  perlu dicari terlebih dahulu. Persamaan arus kapasitor  $C_o$ , didapatkan dari penurunan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{T_s} \left( \int_0^{DT_s} I_{Co,on} dt + \int_{DT_s}^{T_s} I_{Co,off} dt \right) = 0$$

Dengan metode yang sama seperti penurunan persamaan 2.36, 2.37, 2.38, dan 2.39 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{Co,on} \cdot D + (1 - D)I_{Co,off} &= 0 \\
-I_o \cdot D + (1 - D)I_{Co,off} &= 0 \\
I_{Co,off} &= \frac{I_o \cdot D}{1 - D} \quad (2.40)
\end{aligned}$$

Setelah menurunkan persamaan arus kapasitor diatas, persamaan 2.36 dan persamaan 2.39 dapat disederhanakan lagi dengan mensubstitusikan persamaan 2.38 dan persamaan 2.40, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{L2} - I_{C3,off}(1 - D) - I_{L3}(1 - D) &= 0 \\
I_{L2} - I_{L3} \cdot D - I_{L3}(1 - D) &= 0 \\
I_{L2} - I_{L3} &= 0 \\
I_{L2} &= I_{L3} \quad (2.41)
\end{aligned}$$

Diketahui persamaan arus induktor  $L_2$  dan arus induktor  $L_3$  adalah sama.

$$\begin{aligned}
I_{L3} - (1 - D)I_{Co,off} - (1 - D)I_o &= 0 \\
I_{L3} - I_o \cdot D - (1 - D)I_o &= 0 \\
I_{L3} - I_o &= 0 \\
I_{L3} &= I_o \quad (2.42)
\end{aligned}$$

Diketahui persamaan arus induktor  $L_3$  dan arus *output* adalah sama. Dengan mensubstitusikan persamaan 2.41 dan 2.42 pada persamaan 2.30 hingga persamaan 2.32, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{L2} &= I_{L3} = I_{C1,on} = -I_{C2,on} = -I_{C3,on} = I_{C4,on} \\
&= -I_{Co,on} = I_o \quad (2.43)
\end{aligned}$$

Dari persamaan 2.43, dengan menerapkan rumus dari nilai tegangan kapasitor didapatkan nilai kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , kapasitor  $C_4$ , dan kapasitor  $C_0$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{C1} &= \frac{I_{C1,on} \cdot DT_s}{C_1} \\ &= \frac{I_o \cdot DT_s}{C_1}\end{aligned}$$

Variabel arus *output* pada persamaan diatas disubstitusi dengan pembagian antara tegangan dan resistansi. Dan variabel  $T_s$  disubstitusikan menjadi variabel frekuensi, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{C1} &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_1 \cdot f} \\ \Delta V_{C2} &= \frac{I_{C2,on} \cdot DT_s}{C_2} \\ &= \frac{-I_o \cdot DT_s}{C_2}\end{aligned} \tag{2.44}$$

Dengan menerapkan metode penurunan rumus yang sama dengan penurunan persamaan 2.44, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{C2} &= -\frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_2 \cdot f} \\ \Delta V_{C3} &= \frac{I_{C3,on} \cdot DT_s}{C_3} \\ &= \frac{-I_o \cdot DT_s}{C_3}\end{aligned} \tag{2.45}$$

Dengan menerapkan metode penurunan rumus yang sama dengan penurunan persamaan 2.44 dan 2.45, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{C3} &= -\frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_3 \cdot f} \\ \Delta V_{C4} &= \frac{I_{C4,on} \cdot DT_s}{C_4} \\ &= \frac{I_o \cdot DT_s}{C_4}\end{aligned} \tag{2.46}$$

Dengan menerapkan metode penurunan rumus yang sama dengan penurunan persamaan 2.44, 2.45, dan 2.46, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{C_4} &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_4 \cdot f} \\ \Delta V_{C_o} &= \frac{I_{C_{o,on}} \cdot DT_s}{C_o} \\ &= \frac{-I_o \cdot DT_s}{C_o}\end{aligned}\quad (2.47)$$

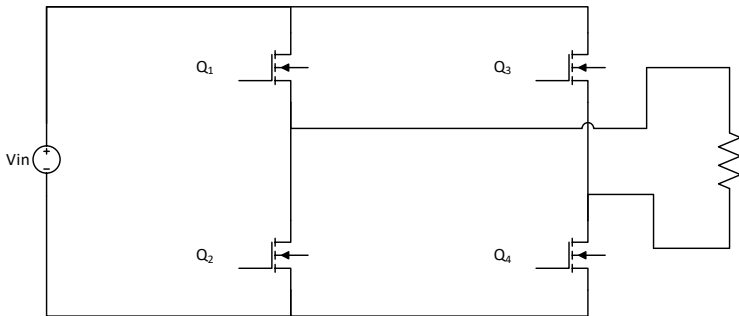
Dengan menerapkan metode penurunan rumus yang sama dengan penurunan persamaan 2.44, 2.45, 2.46, dan 2.47, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta V_{C_o} = -\frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_o \cdot f} \quad (2.48)$$

Pada persamaan 2.45, persamaan 2.46 dan persamaan 2.48 didapatkan nilai negatif, karena pada saat tersebut kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , dan kapasitor  $C_o$  pada saat kondisi *discharge*. Sedangkan kapasitor  $C_1$  dan kapasitor  $C_4$  pada saat kondisi *charge* sehingga bernilai positif.

## 2.5 Inverter 1 Fasa

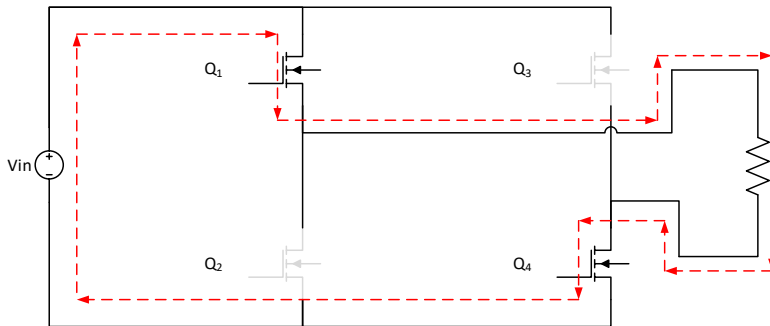
Inverter merupakan peralatan yang mampu mengkonversikan energi dari sistem DC menjadi sistem AC [7]. Inverter 1 fasa terdiri dari 4 sakelar semikonduktor yang diatur penyalannya agar menghasilkan listrik AC yang diinginkan.



**Gambar 2.11** Rangkaian Inverter 1 Fasa

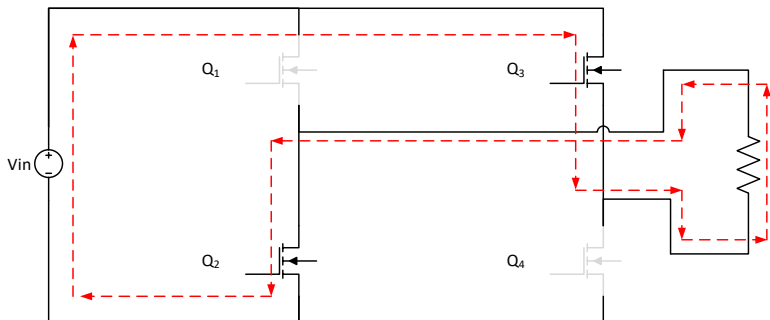
Inverter 1 fasa *square wave* memiliki 2 mode penyalan. Mode pertama adalah ketika  $Q_1$  dan  $Q_4$  menyala. Sumber DC akan mengalirkan arus menuju  $Q_1$  lalu melalui beban dan kembali menuju sumber DC melalui  $Q_4$ , sehingga gelombang yang dihasilkan berpolaritas positif.

### 2.5.1 Analisis Penyalan Sakelar Inverter



**Gambar 2.12** Rangkaian Inverter 1 Fasa saat  $Q_1$  dan  $Q_4$  Aktif

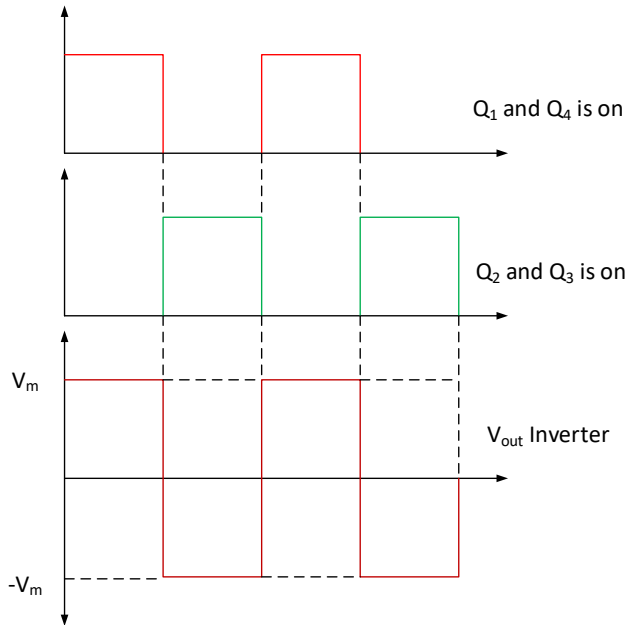
Mode kedua adalah penyalan  $Q_2$  dan  $Q_3$ , saat sumber DC mengalirkan arus menuju  $Q_3$  melalui beban dan kembali menuju sumber DC melalui  $Q_2$ , sehingga menghasilkan gelombang berpolaritas negatif.



**Gambar 2.13** Rangkaian Inverter 1 Fasa saat  $Q_2$  dan  $Q_3$  Aktif

Berdasarkan gambar 2.12 dan gambar 2.13, disaat  $Q_1$  dan  $Q_4$  aktif, maka tegangan pada sisi beban memiliki polaritas positif. Sedangkan saat  $Q_2$  dan  $Q_3$  aktif, maka tegangan pada sisi beban memiliki polaritas negatif.

Sehingga, tegangan akan memiliki dua polaritas yang disebabkan penyalan sakelar secara bergantian menimbulkan listrik AC. Bentuk sinyal yang dihasilkan berdasarkan gambar 2.12 dan gambar 2.13 ditunjukkan oleh gambar 2.14



**Gambar 2.14** (a) Gelombang Penyalan Q<sub>1</sub> dan Q<sub>4</sub>. (b) Gelombang Penyalan Q<sub>2</sub> dan Q<sub>3</sub>. (c) Gelombang Tegangan Output

### 2.5.2 Penurunan Persamaan Inverter 1 Fasa *Square Wave*

Penurunan persamaan inverter 1 fasa dengan gelombang *output* seperti pada gambar 2.13.c. didapatkan dengan menggunakan persamaan RMS. RMS merupakan akar kuadrat dari nilai rata-rata yang dikuadratkan yang diambil selama suatu interval. Dari gambar 2.13.c. tersebut dapat diketahui:

$$U_1 = V_m ; \quad 0 \leq x < t \quad (2.49)$$

$$U_2 = -V_m ; \quad t \leq x < T \quad (2.50)$$

Persamaan RMS didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

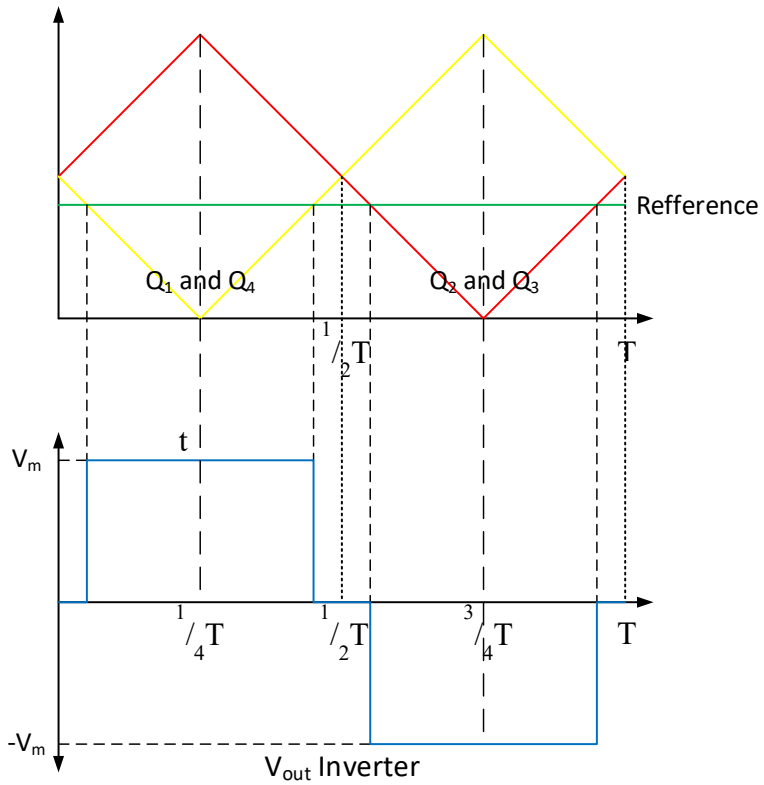
$$\text{RMS Value} = \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b (u(x))^2 dx} \quad (2.51)$$

Dengan diketahui persamaan 2.49 dan 2.50, dapat disubstitusikan ke dalam persamaan 2.51 sehingga menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{o\_rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U(t))^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t (U_1)^2 dt + \frac{1}{T} \int_t^T (U_2)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t (V_m)^2 dt + \frac{1}{T} \int_t^T (-V_m)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot V_m^2 \cdot t + \frac{1}{T} V_m^2 (T - t)} \\ V_{o\_rms} &= \sqrt{V_m^2} \\ V_{o\_rms} &= V_m \end{aligned} \quad (2.52)$$

### 2.5.3 Perhitungan Inverter 1 Fasa *Single Pulse*

Inverter 1 fasa *single pulse* merupakan inverter 1 fasa dengan *dead time* yang memiliki kemiripan dengan inverter 1 fasa *square wave*. Perbedaan kedua jenis inverter ini adalah jika inverter 1 fasa *square wave* memiliki bentuk gelombang yang tidak pernah diam pada sumbu 0. Namun, jika inverter *single pulse* memiliki waktu saat seluruh sakelar dalam keadaan mati, sehingga ada waktu saat nilai tegangan output dalam keadaan 0.



**Gambar 2.15** Penyalan untuk Sakelar Q1-Q4 (a). Bentuk Gelombang Inverter *Single Pulse* (b).

Dari gambar 2.15 (b), didapatkan persamaan untuk inverter 1 fasa *single pulse*:

$$V_o(\omega t) = V_{dc} \quad ; \quad (\frac{1}{2}T - t)/2 \leq (\omega t) \leq (\frac{1}{2}T + t)/2 \quad (2.53)$$

$$V_o(\omega t) = -V_{dc} \quad ; \quad (\frac{3}{2}T - t)/2 \leq (\omega t) \leq (\frac{3}{2}T + t)/2 \quad (2.54)$$

Dari persamaan 2.53 dan 2.54, didapatkan persamaan RMS seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{o-rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \left( \int_{(1/2T-t)/2}^{(1/2T+t)/2} V_m^2 dt + \int_{(3/2T-t)/2}^{(3/2T+t)/2} (-V_m)^2 dt \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{T} \left[ V_m^2 \left( \frac{1/2T+t}{2} - \frac{1/2T-t}{2} \right) + V_m^2 \left( \frac{3/2T+t}{2} - \frac{3/2T-t}{2} \right) \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{T} (V_m^2 \cdot t + V_m^2 \cdot t)} \\
 V_{o-rms} &= V_m \sqrt{\frac{2t}{T}} \quad (2.55)
 \end{aligned}$$

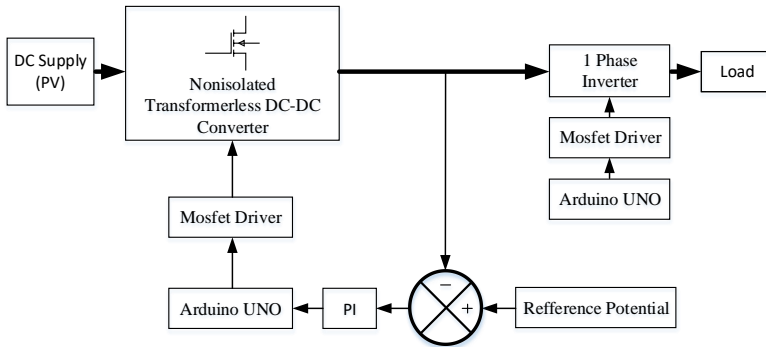
Terdapat perbedaan pada inverter 1 fasa *single pulse* dengan inverter 1 fasa *square wave*. Terdapat variabel “t” yang menyatakan waktu penyalan pada inverter tiap sakelarnya. Dengan mengatur nilai “t”, didapatkan nilai  $V_{o-rms}$  yang diinginkan.



## BAB 3

### DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab 3 ini, akan dibahas mengenai proses desain, simulasi, dan implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC untuk aplikasi sebagai catu daya listrik untuk peralatan *ground control station*. Proses penentuan desain dilakukan dengan menghitung serta menentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada implementasi alat sesuai dengan persamaan yang telah dijabarkan pada bab 2. Simulasi dilakukan guna memastikan bahwa konverter dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Hasil dari desain dan simulasi digunakan sebagai dasar implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Diagram blok rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC yang akan didesain seperti pada gambar 3.1



**Gambar 3.1** Diagram Blok Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

### 3.1 Parameter Panel Surya

Panel surya atau biasa disebut dengan PV (*photovoltaic*) merupakan peralatan yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengkonversikan energi yang terkandung pada foton cahaya matahari menjadi energi listrik [8]. Dalam praktiknya, sel surya yang terpasang pada UAV tersusun secara seri dari beberapa sel surya.

Panel surya yang digunakan pada pesawat UAV memiliki spesifikasi sebagai berikut:

<i>Model Number</i>	= SUNPOWER
<i>Nominal Capacity</i>	= 3.5 Watt
<i>Sort-Circuit Current</i>	= 6.34 A
<i>Open-Circuit Voltage</i>	= 0.693 V
<i>Nominal Current</i>	= 5.98 A
<i>Nominal Voltage</i>	= 0.592 V
<i>Filling Factor (FF)</i>	= 85.4%
Ukuran PV	= 125mm x 125mm

### 3.2 Desain Konverter Nonisolated Transformerless DC-DC

Dalam mendesain konverter *nonisolated transformerless* DC-DC yang dilakukan pertama kali adalah menentukan nilai tegangan *input* ( $V_{in}$ ), nilai tegangan *output* ( $V_o$ ), frekuensi *switching* ( $f_s$ ), dan daya ( $P$ ). Dengan menentukan parameter tersebut, dapat diketahui nilai parameter komponen (induktor dan kapasitor) dan nilai beban. Penentuan parameter awal ini juga digunakan untuk meninjau komponen dan alat yang tersedia di laboratorium dan di pasaran. Dengan penentuan seluruh nilai tersebut, akan mempermudah dalam melakukan implementasi desain konverter ini. Berikut adalah tabel 3.1 yang menjelaskan mengenai parameter awal dalam mendesain rangkaian ini.

**Tabel 3.1** Desain Awal Rangkaian

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1.	Tegangan <i>Input</i> ( $V_i$ )	24	Volt
2.	Tegangan <i>Output</i> ( $V_o$ )	240	Volt
3.	Frekuensi <i>Switching</i> ( $f_s$ )	30	kHz
4.	Daya ( $P$ )	100	Watt
5.	<i>Ripple</i> Tegangan <i>Output</i>	22	mV
6.	<i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor $C_1$	100	mV
7.	<i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor $C_2$	100	mV
8.	<i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor $C_3$	100	mV
9.	<i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor $C_4$	100	mV
10.	<i>Ripple</i> Arus Induktor $L_1$	1.1	A
11.	<i>Ripple</i> Arus Induktor $L_2$	0.6	A
12.	<i>Ripple</i> Arus Induktor $L_3$	0.6	A

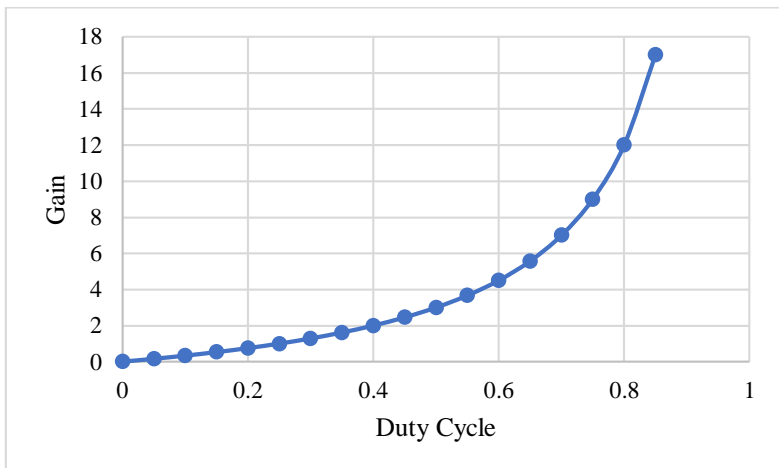
### 3.2.1 Penentuan Rasio Konversi dan *Duty Cycle*

Berdasarkan persamaan 2.26 yang diperoleh dari penurunan persamaan rasio tegangan, maka nilai *duty cycle* mempengaruhi nilai rasio konversi. Pada tabel 3.2 berikut dijelaskan rasio konversi pada konverter ini.

**Tabel 3.2** Rasio Konversi pada Konverter

	Duty Cycle								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
M	0,33	0,75	1,285	2	3	4,5	7	12	27

Berdasarkan tabel 3.2 diatas, didapatkan bentuk karakteristik kurva rasio kenaikan tegangan (M) seperti gambar 3.2. Dari data ini, didapatkan nilai *duty cycle* yang dibutuhkan untuk mengkonversikan tegangan *input* menuju tegangan *output* yang diinginkan.



**Gambar 3.2** Grafik Penguatan Tegangan pada Konverter

Pada penelitian ini telah ditentukan bahwa besarnya tegangan keluaran sebesar 240V dan range tegangan input adalah 22V hingga 28V. Penentuan *duty cycle* ditentukan saat nilai tegangan *input* sebesar 24V.

$$\begin{aligned} M &= \frac{240}{24} \\ &= 10 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui rasio konversi sebesar 10, maka dapat ditentukan nilai *duty cycle* berdasarkan persamaan 2.26 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M &= \frac{3D}{1-D} \\ M(1-D) &= 3D \\ D &= \frac{M}{M+3} \\ D &= \frac{10}{13} \\ D &= 0,77 \end{aligned}$$

Dari perhitungan rasio konversi M sebesar 10, didapatkan nilai *duty cycle* yang dibutuhkan adalah 0,77.

### 3.2.2 Penentuan Nilai Beban

Sebelum mendesain konverter, yang pertama dilakukan yaitu menentukan beban maksimum. Berdasarkan ketentuan pada tabel 3.1, maka beban maksimum dapat ditentukan dengan membandingkan tegangan output dengan nilai daya yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} R_{\text{Load Max}} &= \frac{V_o^2}{P} & (3.1) \\ R_{\text{Load Max}} &= \text{Resistansi Beban Maksimum (ohm)} \\ V_o &= \text{Tegangan Output (Volt)} \\ P &= \text{Daya Maksimum (Watt)} \end{aligned}$$

Dengan persamaan 3.1, didapatkan nilai beban maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{\text{Load Max}} &= \frac{V_o^2}{P} \\ &= \frac{240^2}{100} \\ R_{\text{Load Max}} &= 576 \, \Omega \end{aligned}$$

### 3.2.3 Penentuan Nilai Kapasitor

Selanjutnya adalah menentukan kapasitor filter tegangan output. Nilai parameter ini dapat didapatkan dari persamaan menggunakan persamaan 2.48 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta V_{Co} &= -\frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_o \cdot f} \\ C_o &= -\frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta C_o \cdot f}\end{aligned}\quad (3.2)$$

$C_o$  = Kapasitor Filter Tegangan *Output* (Volt)  
 $D$  = *Duty Cycle*  
 $\Delta V_{Co}$  = *Ripple* Tegangan Kapasitor *Output* (Volt)  
 $f$  = Frekuensi *Switching* (Hz)  
 $R$  = Resistansi Beban (Ohm)

Dari persamaan 3.2,  $\Delta V_{Co}$  bernilai negatif karena persamaan tersebut didapatkan saat kondisi kapasitor filter tegangan *output* dalam keadaan *discharge*, sehingga nilai negatif dapat diabaikan. Didapatkan nilai kapasitor filter tegangan *output* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}C_o &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta C_o \cdot f} \\ C_o &= \frac{240 \times 0,77}{576 \times 0,022 \times 30000} \\ C_o &= 486,11 \text{ uF}\end{aligned}$$

Dalam implementasi, digunakan kapasitor jenis elco (*electrolytic condenser*) pada kapasitor filter tegangan *output* dengan nilai 470 uF 400 V. Dipilih kapasitor dengan nilai 470 uF dikarenakan kapasitor yang mendekati nilai 486.11 uF adalah kapasitor tersebut. Pemilihan tegangan 400 V didasarkan atas nilai tegangan output sebesar 240 V. Dipasaran ada yang bernilai 250 V, namun untuk alasan keamanan digunakanlah kapasitor yang memiliki tegangan *rating* sebesar 400 V.

Setelah menentukan kapasitor filter tegangan *output*, dilakukan penentuan kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , dan kapasitor  $C_4$  dengan menggunakan persamaan 2.44 hingga persamaan 2.47 seperti sebagai berikut:

$$\Delta V_{C1,2,3,4} = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_{1,2,3,4} \cdot f}$$

$$C_{1,2,3,4} = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_{C1,2,3,4} \cdot f} \quad (3.3)$$

Karena desain *ripple* kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , dan kapasitor  $C_4$  adalah sama, maka persamaan keempat kapasitor dapat disamakan. Nilai negatif yang ada pada kapasitor  $C_2$  dan kapasitor  $C_3$  dikarenakan kapasitor tersebut dalam keadaan *discharge* sehingga bernilai negatif, sehingga dapat diabaikan. Didapatkan nilai kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , dan kapasitor  $C_4$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{1,2,3,4} &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_{C1,2,3,4} \cdot f} \\ C_{1,2,3,4} &= \frac{240 \times 0,77}{576 \times 0,1 \times 30000} \\ C_{1,2,3,4} &= 107 \text{ uF} \end{aligned}$$

Dalam implementasi, digunakan kapasitor jenis elco (*electrolytic condenser*) pada kapasitor filter tegangan *output* dengan nilai 100 uF 250 V. Dipilih kapasitor dengan nilai 100 uF dikarenakan kapasitor yang mendekati nilai 107 uF adalah kapasitor tersebut. Pemilihan nilai kapasitor dengan *rating* tegangan 250 V pada kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  didasarkan pada nilai ESR (*Equivalent Series Resistance*) dari kapasitor yang nilainya berbanding terbalik dengan tegangan kerja suatu kapasitor. Untuk kapasitor  $C_3$  dan  $C_4$  dikarenakan tegangannya sebesar ~160 V, dipasaran nilai yang mendekati sebesar 200 V, namun karena jarang ada dipasaran dipilihlah yang kapasitor dengan tegangan kerja 250 V.

### 3.2.4 Penentuan Nilai Induktor

Nilai induktor dalam implementasinya dihitung dengan menggunakan persamaan 2.27 hingga persamaan 2.29 yang bekerja pada mode CCM (*Current Continuous Mode*). Nilai arus yang mengalir pada induktor harus lebih dari nol. Nilai induktor  $L_2$  dan nilai induktor  $L_3$  didesain dengan nilai yang sama. Pada penentuan desain konverter dilakukan perhitungan dengan menganggap konverter dalam kondisi ideal, sehingga nilai daya *input* dianggap sama dengan daya *output*. Penentuan nilai induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  adalah sebagai berikut:

$$L_1 = V_{in} \cdot \frac{D}{\Delta I_{L1} \cdot f_s}$$

$$\begin{aligned}
&= 24 \times \frac{0,77}{1,1 \times 30000} \\
&= 560 \text{ uH}
\end{aligned}$$

Untuk penentuan induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$ :

$$\begin{aligned}
L_{2,3} &= V_{in} \cdot \frac{D}{\Delta I_{L2,3} \cdot f_s} \\
&= 24 \times \frac{0,77}{0,6 \times 30000} \\
&= 1,027 \text{ mH}
\end{aligned}$$

Dalam desain serta implementasinya, yang pertama kali dilakukan adalah dengan menentukan kawat email yang digunakan sebagai belitan induktor. Penentuan jenis kawat yang digunakan didasarkan dua parameter, frekuensi *switching* dari konverter dan arus maksimum yang melewati induktor. Nilai frekuensi *switching* yang digunakan adalah sebesar 30 kHz, sedangkan untuk nilai arus maksimum yang melewati induktor untuk induktor  $L_2$  dan  $L_3$  sama dengan arus *output*, sedangkan untuk induktor  $L_1$  didapatkan dari penjumlahan dari arus kapasitor  $C_2$  dan arus induktor  $L_2$  serta pengurangan nilai arus kapasitor  $C_1$  dan  $C_4$  saat kondisi mode “*off*”. Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
I_{L1} &= (I_{L2} + I_{C2} - I_{C1} - I_{C4})_{off} \\
I_{L1} &= \frac{1+2D}{1-D} \times I_o
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Sehingga didapatkan nilai tiap – tiap induktor sebagai berikut:

Untuk nilai induktor  $L_2$  dan  $L_3$ :

$$\begin{aligned}
I_{L2} &= I_{L3} = I_o \\
I_o &= \frac{P_o}{V_o} \\
&= \frac{100}{240} \\
I_o &= 0,4167 \text{ A}
\end{aligned}$$

Untuk nilai induktor  $L_1$ :

$$I_{L1} = \frac{1+2D}{1-D} \times I_o$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1+2 \times 0,77}{1-0,77} \times 0,4167 \\
&= 4,6 \text{ A}
\end{aligned}$$

Berdasarkan frekuensi *switching* yang digunakan sebesar 30 kHz, maka kawat email yang digunakan untuk induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  harus mampu bekerja pada frekuensi 30 kHz. Untuk induktor  $L_1$ , dipilih kawat AWG 25 yang memiliki diameter sebesar 0,45 mm dengan resistansi 0,106  $\Omega$ /m, dengan daya hantar arus sebesar 0,457 A yang mampu bekerja hingga frekuensi 85 kHz. Sedangkan induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$  dipilih kawat AWG 26 yang memiliki diameter sebesar 0,4 mm dengan resistansi 0,133  $\Omega$ /m, dengan daya hantar arus sebesar 0,361 A yang mampu bekerja hingga frekuensi 107 kHz.

Berdasarkan parameter arus, kawat email untuk induktor  $L_1$  harus mampu menahan arus 5.17 A. Nilai tersebut didapat dengan mempertimbangkan arus rata – rata yang melalui induktor  $L_1$  dengan desain *ripple* arus pada induktor  $L_1$ . Agar aman, dipilih kawat induktor yang memiliki kapasitas arus lebih besar yaitu kawat AWG 8 yang memiliki diameter sebesar 3,26 mm dengan resistansi sebesar 0,002  $\Omega$ /m, daya hantar arus sebesar 24 A dengan frekuensi kerja maksimal sebesar 1,65 kHz.

Induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$  menggunakan kawat email yang diperlukan yang mampu menahan arus sebesar 0,7242 A. Selain nilai arus rata – rata induktor, nilai ini juga memperhatikan *ripple* arus pada induktor tersebut. Agar aman, dipilih kawat induktor dengan kapasitas arus yang lebih besar yaitu kawat AWG 16 yang memiliki diameter sebesar 1,29 mmH dengan resistansi sebesar 0,013  $\Omega$ /m, dengan daya hantar arus sebesar 3,7 A dengan frekuensi kerja maksimal sebesar 11 kHz. Adapun perhitungan jumlah pilinan yang digunakan untuk induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
n_{L1} &= \frac{d_{AWG\ 8}}{d_{AWG\ 25}} \\
&= \frac{3,2639}{0,4546} \\
n_{L1} &= 7,18 \approx 8 \\
n_{L2,3} &= \frac{d_{AWG\ 17}}{d_{AWG\ 26}}
\end{aligned}$$



$$= \frac{1,2903}{0,4039}$$

$$n_{L2.3} = 3,195 \approx 4$$

Dari kedua persamaan diatas didapatkan jumlah pilinan yang digunakan untuk induktor  $L_1$  sebanyak 8 pilinan kawat AWG 25. Untuk induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$  adalah 4 pilinan kawat AWG 26.

Pada desain induktor  $L_1$ , inti induktor yang digunakan adalah inti *ferrite* dengan nomor seri 0077548A7 yang diproduksi oleh Magnetics Inc dengan material Kool Mu yang memiliki karakteristik seperti berikut:

**Tabel 3.3** Parameter pada Inti Induktor  $L_1$  [9]

Parameter	Nilai
$A_L$	127 nH
$A_e$	65,6 mm <sup>2</sup>
$L_e$	81,4 mm
$\mu_e$	125
$B_s$	10500 gauss

Sedangkan untuk induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$  digunakan inti induktor dengan merk TDK E49 dengan material N27. Terdapat beberapa perbedaan karakteristik antara inti untuk induktor  $L_2$  maupun induktor  $L_3$ .

**Tabel 3.4** Parameter pada Inti Induktor  $L_2$  dan Induktor  $L_3$  [10]

Parameter	Nilai
$A_L$	3700 nH
$A_e$	211 mm <sup>2</sup>
$L_e$	114 mm
$\mu_e$	1590
$B_s$	3200 gauss

Pada kedua tabel diatas terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan dalam desain induktor. Parameter yang digunakan meliputi  $A_L$  (Faktor induktansi),  $A_e$  (Luas penampang efektif inti),  $l_e$  (Panjang jalur efektif inti),  $\mu_e$  (Permeabilitas efektif relative), dan  $B_s$  (Kerapatan fluks magnet maksimal).

Untuk mendapatkan nilai induktansi yang diinginkan, maka digunakan persamaan sebagai berikut [11]:

$$L = A_L \times N^2 \quad (3.5)$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (3.6)$$

Dengan persamaan 3.6, didapatkan jumlah belitan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_1}{A_{L1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{560 \mu H}{0,127 \mu H}}$$

$$N_1 = 66,4 \approx 67$$

$$N_{2,3} = \sqrt{\frac{L_{2,3}}{A_{L2,3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1027 \mu H}{3,7 \mu H}}$$

$$N_{2,3} = 16,66 \approx 17$$

Dari hasil desain diatas didapatkan bahwa untuk induktor  $L_1$  dibutuhkan sekitar 67 belitan agar dapat memenuhi nilai induktansi sebesar 560  $\mu H$ . Sedangkan induktor  $L_2$  dan induktor  $L_3$  dibutuhkan sekitar 17 belitan agar dapat memenuhi nilai induktansi sebesar 1,027 mH. Dengan diketahuinya nilai belitan yang dibutuhkan, dapat diketahui apakah inti induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  mengalami saturasi atau tidak. Perhitungan dilakukan dengan persamaan berikut ini [11]:

$$B_{L1} = \frac{L_1 \times I_{1,Max}}{N_1 \times A_e}$$

$$= \frac{0,56 \cdot 10^{-3} \times 5,76}{67 \times 65,6 \times 10^{-6}}$$

$$= 0,7339 \text{ T}$$

$$B_{L1} = 7339 \text{ Gauss}$$

$$B_{L2,3} = \frac{L_{2,3} \times I_{2,3,Max}}{N_{2,3} \times A_e}$$

$$= \frac{1,027 \cdot 10^{-3} \times 0,7242}{17 \times 211 \times 10^{-6}}$$

$$= 0,2073 \text{ T}$$

$$B_{L2,3} = 2073 \text{ Gauss}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  tidak mengalami saturasi.

### 3.2.5 Penentuan MOSFET

Rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC menggunakan satu buah sakelar MOSFET. Penentuan *stress* tegangan dan arus pada *drain* dan *source* pada MOSFET dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_s = \frac{V_{in}}{1-D}$$

$$V_s = \frac{24}{1-0,77}$$

$$V_s = 104,34 \text{ V}$$

Lalu untuk menentukan arus *drain* dan *source* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_s = \frac{3}{1-D} I_o$$

$$I_s = \frac{3}{1-0,77} 0,4167$$

$$I_s = 5,435 \text{ A}$$

Jenis MOSFET yang digunakan adalah MOSFET dengan tipe IRFP460. MOSFET ini memiliki kemampuan menahan beda tegangan antara *drain* dan *source* atau  $V_{DS}$  tidak kurang dari 500 V. dengan arus maksimum sebesar 20 A saat suhu MOSFET 25 °C dan sebesar 13 A saat suhu MOSFET 100 °C. Tegangan yang diberikan *gate* dan *source* atau  $V_{GS}$  maksimum adalah sebesar  $\pm 20$  V dengan hambatannya sebesar 0,27  $\Omega$ . Besar nilai tegangan dan arus yang melewati MOSFET masih dibawah spesifikasi MOSFET IRFP460 sehingga MOSFET ini dapat digunakan. Selain itu, pemilihan MOSFET IRFP460 didasarkan karena MOSFET ini merupakan MOSFET yang memiliki kemampuan *switching*.

### 3.2.6 Penentuan Dioda

Dioda  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$  pada konverter *nonisolated transformerless* DC-DC memiliki peran sebagai penentu mode I dan mode II konverter. Penentuan dioda didasarkan atas nilai arus, tegangan serta frekuensi yang dapat diampunya. Berikut ini adalah nilai stress tegangan yang dimiliki oleh dioda  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$ :

$$\begin{aligned}V_{D1,2,3} &= \frac{V_{in}}{1-D} \\V_{D1,2,3} &= \frac{24}{1-0,77} \\V_{D1,2,3} &= 104,34 \text{ V}\end{aligned}$$

Setelah itu ditentukan arus yang melewati dioda  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$ . Nilai pada dioda tersebut dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

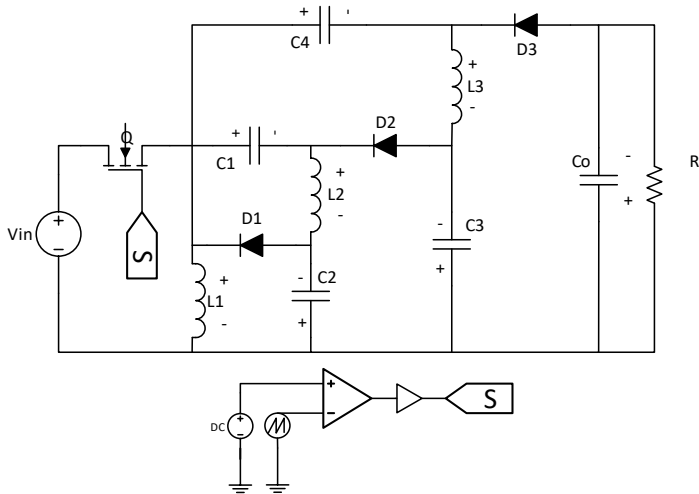
$$\begin{aligned}I_{D1,2,3} &= \frac{I_o}{1-D} \\I_{D1,2,3} &= \frac{0,4167}{1-0,77} \\I_{D1,2,3} &= 1,81 \text{ A}\end{aligned}$$

Dengan nilai tegangan sebesar 104,34 V dan arus yang melewati dioda sebesar 1,81 A, serta konverter yang bekerja pada frekuensi 30 kHz, maka dipilihlah dioda MUR1560. Dioda ini memiliki kapasitas arus maksimum sebesar 15 A dan tegangan *threshold* sebesar 600 V. Dioda ini merupakan dioda *ultrafast switching* sehingga dapat bekerja pada frekuensi 30 kHz.

### 3.3 Simulasi Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

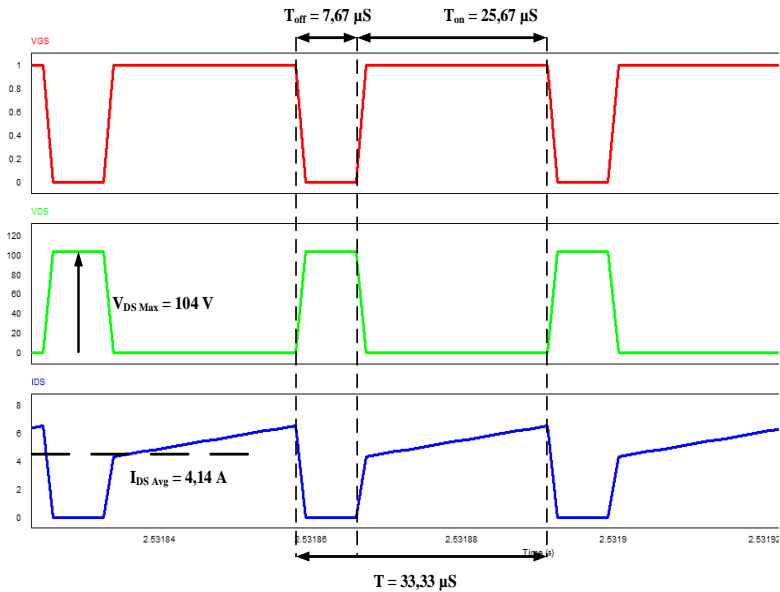
Simulasi rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC dilakukan dengan menggunakan *software* PSIM. Simulasi dilakukan saat kondisi *steady state*. Selain itu, komponen yang digunakan merupakan komponen yang bersifat ideal. Tujuan dari simulasi ini dilakukan adalah agar diketahui apakah konverter ini dapat bekerja dengan baik dan benar

atau tidak. Dari parameter desain yang telah didapatkan, diharapkan mampu menghasilkan tegangan *output* 240 V.



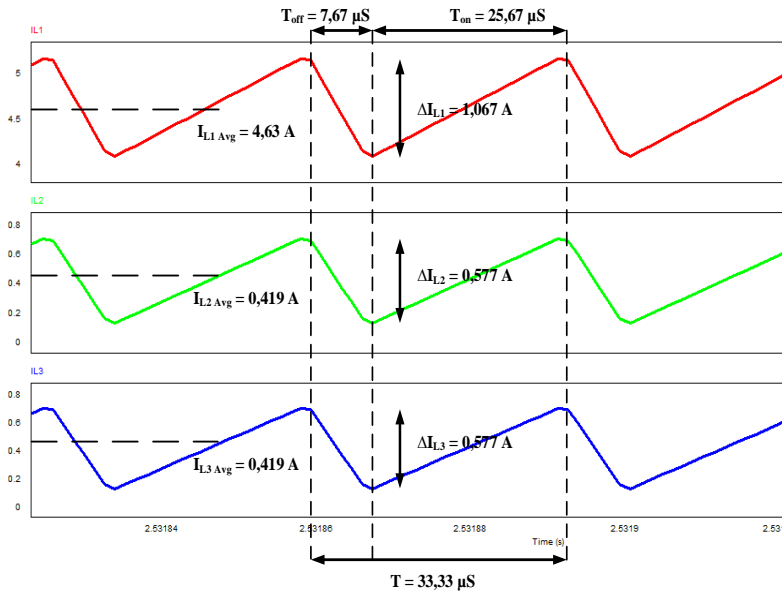
**Gambar 3.3** Skema simulasi Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

Tegangan *input* pada saat simulasi dijaga tetap pada tegangan 24 V menggunakan sumber DC dengan *duty cycle* sebesar 0,77. Simulasi rangkaian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC akan diamati beberapa gelombang parameter yang digunakan. Gelombang yang diamati antara lain adalah gelombang tegangan pensaklaran pada sisi *gate-source* ( $V_{GS}$ ), tegangan pensaklaran pada sisi *drain-source* ( $V_{DS}$ ), arus induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  ( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ , dan  $I_{L3}$ ), tegangan kapasitor  $C_1$ , tegangan kapasitor  $C_2$ , tegangan kapasitor  $C_3$ , dan tegangan kapasitor  $C_4$  ( $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ ,  $V_{C3}$ , dan  $V_{C4}$ ), tegangan dioda  $D_1$ , tegangan dioda  $D_2$ , dan tegangan dioda  $D_3$  ( $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$ , dan  $V_{D3}$ ), serta tegangan *output* ( $V_o$ ) dan tegangan *input* ( $V_{in}$ ).



**Gambar 3.4** Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source*, Tegangan *Drain-Source*, dan Arus *Drain-Source*

Gambar 3.4 diatas menunjukkan gelombang tegangan *gate-source*, tegangan *drain-source*, dan arus *drain-source*. Ketika sinyal PWM yang diberikan pada *gate* MOSFET berlogika *high*, maka pada bagian *drain-source* berlogika *low* sehingga arus mengalir pada bagian *drain-source*. Ketika mode konduksi, sakelar akan terbuka selama 7,67  $\mu s$  dan akan tertutup selama 25,67  $\mu s$ . Pada hasil simulasi didapatkan nilai tegangan maksimum pada tegangan *drain-source* sebesar 104 V, sedangkan arus rata – rata dari bagian *drain-source* sebesar 4,14 A dengan arus maksimum sebesar 6,6 A.

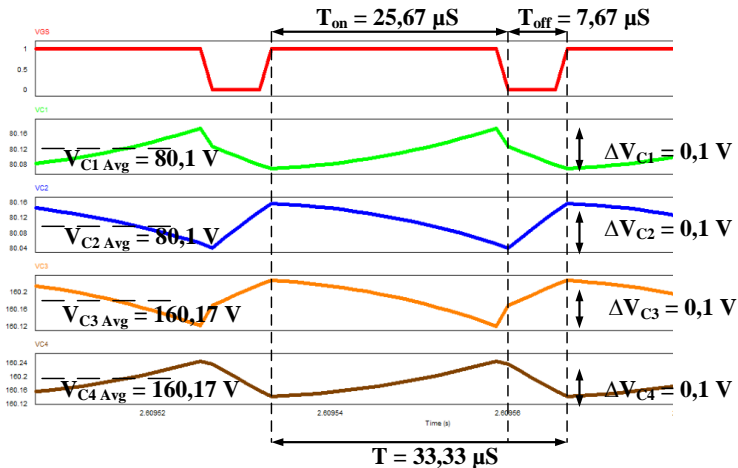


**Gambar 3.5** Bentuk Gelombang Arus Induktor L<sub>1</sub>, Arus Induktor L<sub>2</sub>, dan Arus Induktor L<sub>3</sub>

Gambar 3.5 menunjukkan bentuk gelombang arus induktor L<sub>1</sub>, arus induktor L<sub>2</sub>, dan arus induktor L<sub>3</sub>. Dari hasil simulasi didapatkan data arus rata – rata induktor L<sub>1</sub> sebesar 4,63 A, arus rata – rata induktor L<sub>2</sub> dan induktor L<sub>3</sub> sebesar 0,419 A. Nilai ripple arus pada induktor L<sub>1</sub> adalah sebesar 1,067 A dan ripple arus pada L<sub>2</sub> dan induktor L<sub>3</sub> adalah sebesar 0,577 A. Saat sakelar dalam keadaan tertutup, induktor L<sub>1</sub>, induktor L<sub>2</sub>, dan induktor L<sub>3</sub> dalam keadaan termagnetisasi sehingga induktor akan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Lalu, saat sakelar terbuka, induktor L<sub>1</sub>, induktor L<sub>2</sub>, dan induktor L<sub>3</sub> dalam keadaan demagnetisasi.

Pada gambar 3.6 menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan kapasitor C<sub>1</sub>, kapasitor C<sub>2</sub>, kapasitor C<sub>3</sub>, dan kapaitor C<sub>4</sub>. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa ketika sakelar dalam keadaan tertutup, kapasitor C<sub>1</sub> dan kapasitor C<sub>4</sub> berada dalam kondisi *charging*, sedangkan kapasitor C<sub>2</sub> dan kapasitor C<sub>3</sub> berada dalam kondisi *discharging*. Ketika

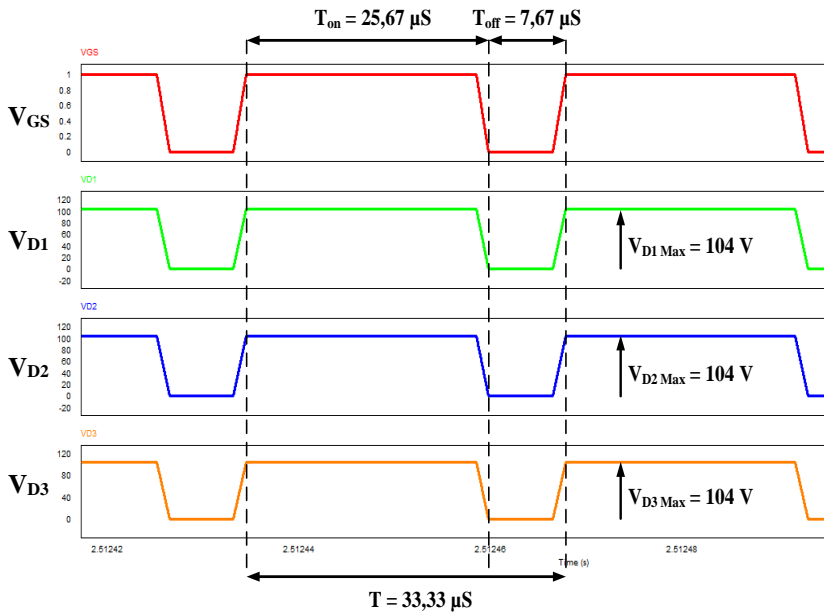
sakelar dalam keadaan terbuka, kapasitor  $C_1$  dan kapasitor  $C_4$  berada dalam kondisi *discharging*, sedangkan kapasitor  $C_2$  dan kapasitor  $C_3$  berada dalam kondisi *charging*. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan rata – rata kapasitor  $C_1$  sama dengan tegangan rata – rata kapasitor  $C_2$  sebesar 80,1 V dengan *ripple* tegangan sebesar 0,1 V. Tegangan rata – rata kapasitor  $C_3$  sama dengan tegangan kapasitor  $C_4$  sebesar 160,17 V dengan *ripple* tegangan sebesar 0,1 V.



**Gambar 3.6** Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor  $C_1$ , Kapasitor  $C_2$ , Kapasitor  $C_3$ , dan Kapasitor  $C_4$

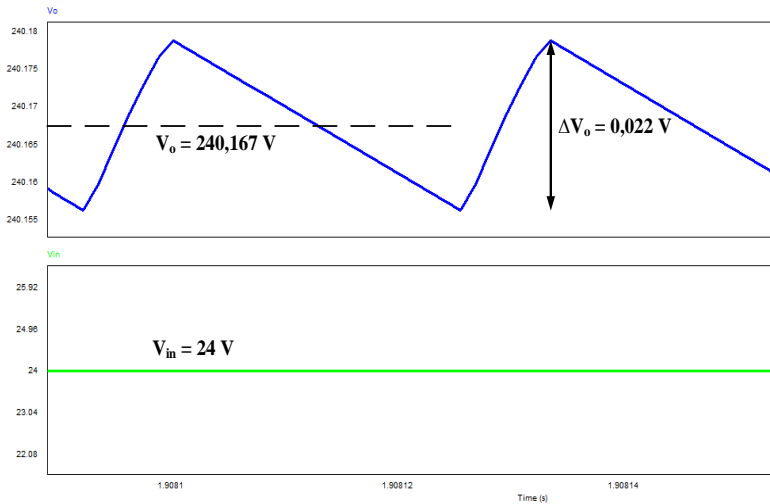
Pada gambar 3.7 menunjukkan bentuk gelombang tegangan dioda  $D_1$ , dioda  $D_2$ , dan dioda  $D_3$ . Saat sakelar dalam keadaan tertutup, dioda  $D_1$ , dioda  $D_2$ , dan dioda  $D_3$  berada dalam keadaan *reverse biased*, sehingga memiliki nilai tegangan yaitu sebesar 104 V. Saat kondisi sakelar dalam keadaan terbuka, dioda berada dalam keadaan *forward biased* dioda menyalurkan arus listrik, sehingga tegangan dioda menjadi nol.





**Gambar 3.7** Bentuk Gelombang Tegangan Dioda D<sub>1</sub>, Dioda D<sub>2</sub>, dan Dioda D<sub>3</sub>

Gambar 3.8 menunjukkan bentuk gelombang tegangan *output* dan tegangan *input*. Tegangan *output* yang dihasilkan memiliki nilai rata – rata sebesar 240,167 V dengan *ripple* tegangan sebesar 0,022 V atau 22 mV. Nilai tegangan *input* yang diberikan adalah 24 V. Hal ini membuktikan bahwa dengan simulasi, tegangan *output* yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar 10 kali dari tegangan *input*, dari 24 V menjadi 240 V.



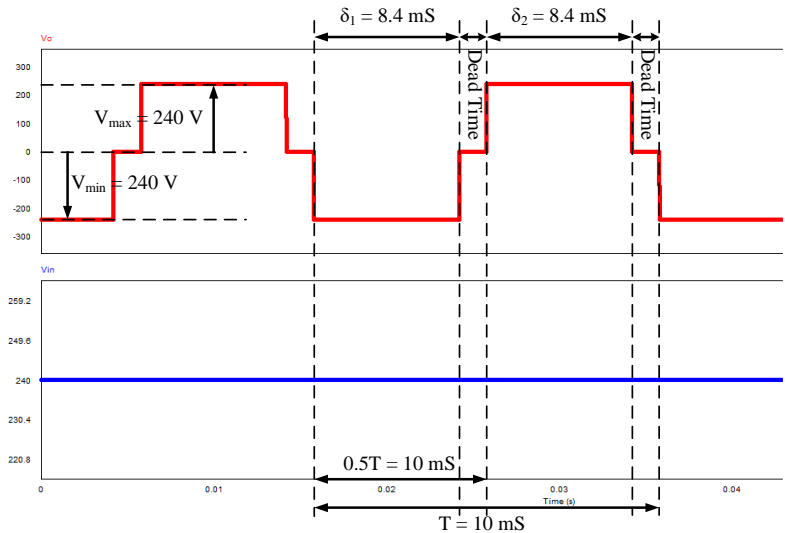
**Gambar 3.8** Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Tegangan *Input*

### 3.4 Simulasi Inverter 1 Fasa

Gambar 3.9 menunjukkan gambar bentuk gelombang hasil simulasi inverter 1 fasa *single pulse*. Tegangan *output* dari inverter dari hasil simulasi sebesar 219,96 V. Tegangan *input* dari yang masuk pada inverter bernilai sebesar 240 V. Jika dibandingkan dari nilai perhitungan, nilai tegangan *output* yang sebesar 220 V hampir sama dengan nilai hasil perhitungan. Berdasarkan persamaan 2.55, didapatkan nilai tegangan *output* inverter jika  $\delta$  sebesar 0,84 adalah:

$$\begin{aligned}
 V_{o-rms} &= V_m \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \\
 &= 240 \sqrt{\frac{8.4}{10}} \\
 &= 219,96 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai dari perhitungan sama dengan nilai dari hasil simulasi yang dijalankan.



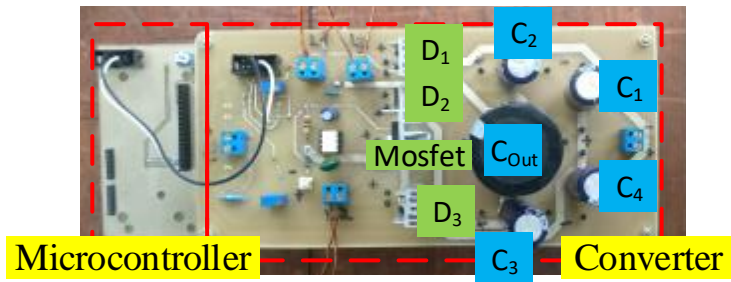
**Gambar 3.9** Bentuk Gelombang  $V_{out}$  dan  $V_{in}$  dari Inverter

### 3.5 Implementasi Rangkaian Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

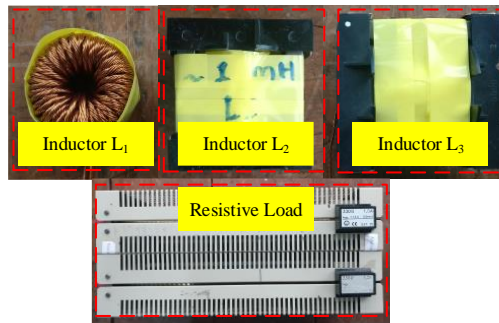
Implementasi adalah tahap pembuatan alat sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Nilai komponen ketika implementasi disesuaikan dengan ketersediaan yang ada pada pasar. Nilai komponen pada implementasi beberapa ada yang memiliki nilai *rating* lebih tinggi dari nilai yang telah didesain untuk mengantisipasi hal yang tidak diinginkan terjadi ketika diimplementasikan. Berikut adalah tabel mengenai komponen yang akan digunakan dalam implementasi konverter:

**Tabel 3.5** Parameter Komponen Konverter

Komponen	Nilai
Tegangan Sumber DC Power Supply	24 V
Mikrokontroler	Arduino UNO
MOSFET	IRFP460 (1 buah)
Optocoupler	FOD3182 (1 buah)
Power Supply untuk Optocoupler	12 V
Dioda $D_1$ , $D_2$ , dan $D_3$	MUR1560 (3 buah)
Kapasitor Filter Tegangan <i>Output</i>	Elco 470 $\mu$ F 400 V
Kapasitor $C_1$ , $C_2$ , $C_3$ , dan $C_4$	Elco 100 $\mu$ F 250 V (4 buah)
Induktor $L_1$	553,2 $\mu$ H
Induktor $L_2$	1,004 mH
Induktor $L_3$	0,981 mH
Beban Resistor	576 $\Omega$
Frekuensi <i>Switching</i>	30 kHz
Inti Induktor	TDK-B66367
Tegangan <i>Output</i>	240 V
<i>Duty Cycle</i>	78,9%



**Gambar 3.10** Implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC – DC



**Gambar 3.11** Komponen induktor dan beban resistif yang digunakan



**Gambar 3.12** Pesawat yang Digunakan untuk Pengujian PV, serta Implementasi Konverter dan Inverter dengan Beban Resistor

Gambar 3.10 dan 3.11 merupakan gambar dari implementasi dari konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Pada implementasi, sistem ini terdiri dari beberapa bagian seperti induktor, kapasitor, dioda, *micro controller*, Arduino UNO, dengan sumber dari laptop, serta *power supply* DC 12 V. Ada pula implementasi dengan menggunakan pesawat maupun dengan menggunakan inverter yang ditunjukkan pada gambar 3.12.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

### **HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

Pada bab ini dibahas mengenai hasil pengujian dan analisis dari implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Pengujian yang dilakukan antara lain adalah pengujian pensakelaran, pengujian dioda, pengujian induktor, pengujian kapasitor, pengujian tegangan *output* dan tegangan *input*, pengujian rasio konversi, pengujian efisiensi, dan pengujian dengan menggunakan PV.

#### **4.1 Alat Pengujian**

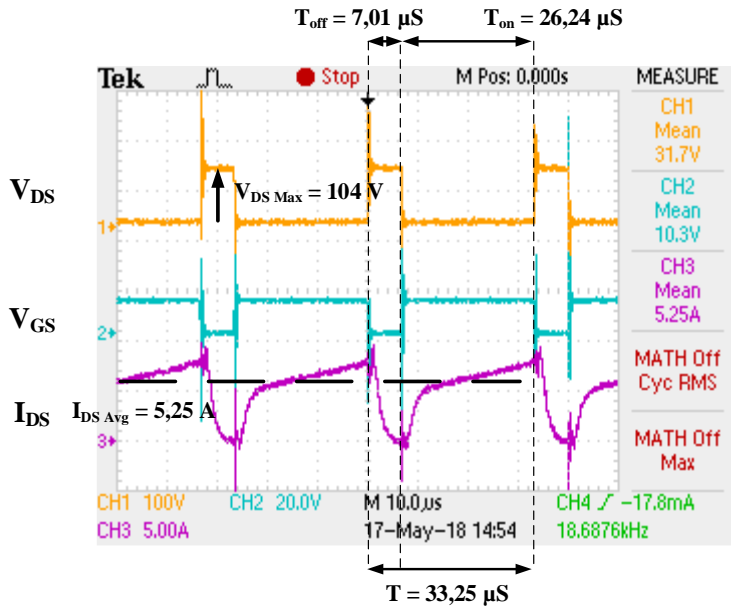
Pengujian konverter *nonisolated transformerless* DC-DC yang dilakukan menggunakan peralatan yang ada pada laboratorium. Peralatan yang digunakan antara lain adalah sumber DC variabel, osiloskop tektronix, multimeter, LCR meter, serta beban R. Sumber DC variabel yang digunakan memiliki tegangan maksimum sebesar 63 V dengan arus maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 5 A ketika dihubungkan seri. Resistor variabel yang digunakan untuk menghasilkan nilai resistansi sebesar 576  $\Omega$  memiliki *rating* arus sebesar 0,6 A.

#### **4.2 Pengujian Sinyal dan Nilai Komponen**

Pengujian sinyal dan nilai komponen memiliki tujuan untuk membandingkan apakah sinyal pada proses implementasi telah sesuai dengan sinyal ketika proses desain serta simulasi. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pensakelaran, pengujian induktor, pengujian dioda, pengujian kapasitor, serta pengujian tegangan *output* dan tegangan *input*.

##### **4.2.1 Pengujian Pensakelaran**

Gambar 4.1 menunjukkan bentuk sinyal tegangan *drain-source*, tegangan *gate-source*, dan arus *drain-source*. Bentuk gelombang yang ditunjukkan dari hasil implementasi telah sesuai dengan bentuk gelombang pada desain dan simulasi.



**Gambar 4.1** Bentuk Gelombang Tegangan *Drain-Source*, tegangan *Gate-Source*, dan Arus *Drain-Source* pada Implementasi

Pada bagian *gate* dari MOSFET diberi *trigger* berupa sinyal PWM seperti pada gambar 4.1. Pada sinyal PWM ada dua kondisi yaitu saat kondisi logika *high* dan *low*. Saat kondisi pada bagian *gate* berlogika *high*, menyebabkan sakelar pada *drain-source* tertutup sehingga tidak ada tegangan pada bagian *drain-source* dan menyebabkan adanya arus yang mengalir pada *drain-source*. Arus rata – rata yang mengalir pada saat implementasi bernilai 5,25 A, memiliki nilai lebih tinggi dari nilai arus pada desain maupun simulasi dikarenakan ketidakidealan saat pengujian alat yang dapat menyebabkan rugi – rugi. Ketika kondisi pada bagian *gate* berlogika *low*, menyebabkan sakelar pada *drain-source* terbuka sehingga terdapat nilai tegangan sebesar 104 V dan menyebabkan tidak adanya arus yang mengalir pada *drain-source*.

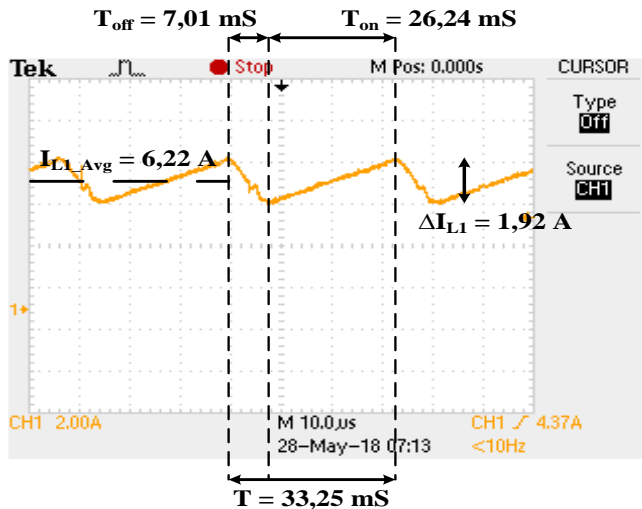
Gelombang yang dihasilkan pada *gate-source* dan *drain-source* mengandung *spike* tegangan. Hal ini dikarenakan tidak idealnya



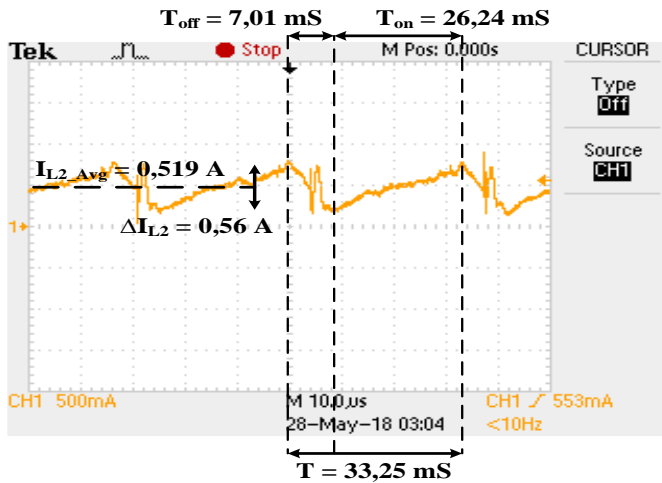
komponen. Dari gambar 4.1, didapatkan nilai *duty cycle* yang lebih besar dari desain dan simulasi. Hal ini dikarenakan, dengan adanya rugi – rugi pada konverter, menyebabkan nilai tegangan *output* mengalami *drop* tegangan, sehingga *duty cycle* dinaikkan agar nilai tegangan *output* terjaga pada nilai tegangan 240 V.

#### 4.2.2 Pengujian Arus Induktor $L_1$ , Induktor $L_2$ , dan Induktor $L_3$

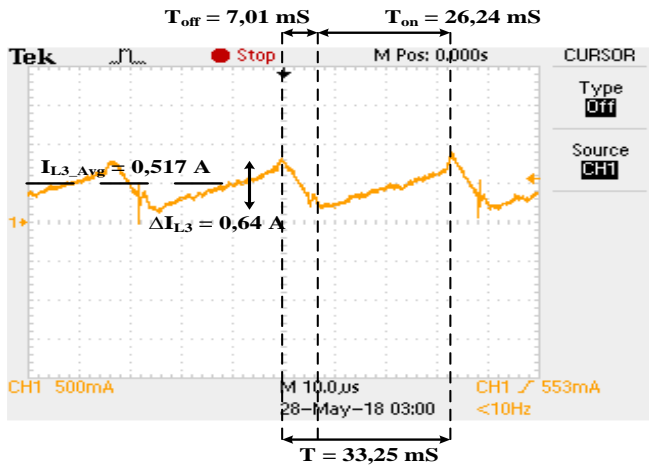
Pengujian arus induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  bertujuan untuk membandingkan hasil desain dan simulasi dengan hasil implementasi, terutama dalam bentuk gelombang, nilai arus, serta nilai *ripple*. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.2 hingga gambar 4.4.



**Gambar 4.2** Bentuk Gelombang Arus Induktor  $L_1$



**Gambar 4.3** Bentuk Gelombang Arus Induktor  $L_2$



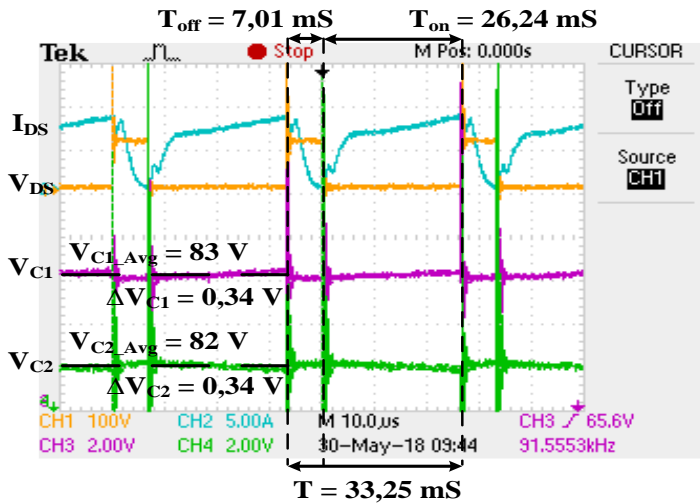
**Gambar 4.4** Bentuk Gelombang Arus Induktor  $L_3$

Ketiga gambar tersebut menunjukkan bahwa bentuk gelombang arus induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  telah sesuai dengan bentuk gelombang pada simulasi. Terlihat pula bahwa induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$  termagnetisasi pada saat sakelar tertutup dan pada saat sakelar terbuka ketiga induktor tersebut mengalami demagnetisasi. Nilai arus rata – rata pada induktor  $L_1$ , induktor  $L_2$ , dan induktor  $L_3$ , adalah sebesar 6,22 A, 0,519 A, dan 0,517 A. Nilai arus rata – rata induktor lebih tinggi dari nilai pada desain serta simulasi dikarenakan ketidakidealan komponen.

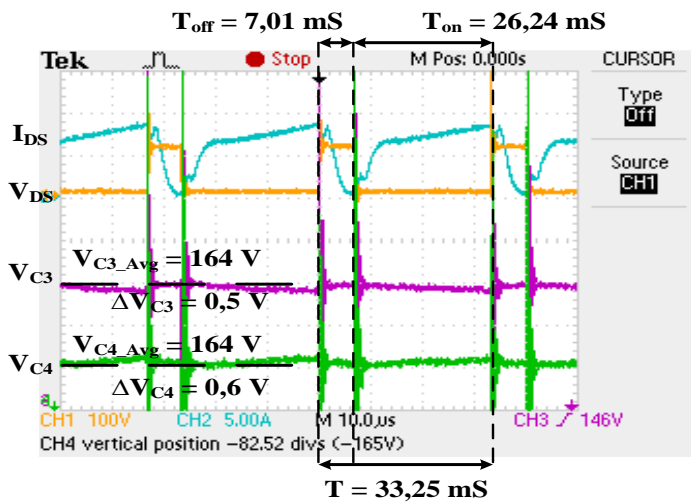
#### **4.2.3 Pengujian Tegangan Kapasitor $C_1$ , Kapasitor $C_2$ , Kapasitor $C_3$ , dan Kapasitor $C_4$**

Pengujian tegangan kapasitor  $C_1$ , kapasitor  $C_2$ , kapasitor  $C_3$ , dan kapasitor  $C_4$  bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang tegangan kapasitor tersebut ketika *charging* dan *discharging* dan juga untuk mengetahui besar nilai tegangan kapasitor untuk dibandingkan dengan hasil desain dan simulasi.

Dari gambar 4.5 dan 4.6, didapatkan bahwa saat sakelar Q tertutup, dioda D1, D2, dan D3 dalam keadaan reverse biased. Induktor  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$  akan termagnetisasi secara linier. Dan untuk kapasitor  $C_1$  dan  $C_4$  mengalami proses charging oleh kapasitor  $C_2$  dan  $C_3$ . Sedangkan untuk kapasitor  $C_2$  dan kapasitor  $C_3$  mengalami mode *discharging*. Saat sakelar Q terbuka, dioda D1, D2, dan D3 dalam keadaan forward biased. Induktor  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$  mengalami fase demagnetisasi secara linier. Kapasitor  $C_2$  mengalami proses charging oleh induktor  $L_1$ , sedangkan kapasitor  $C_3$  mengalami proses charging oleh induktor  $L_1$  dan  $L_2$ . Kapasitor  $C_1$  dan  $C_4$  mengalami proses discharging. Sedangkan untuk kapasitor  $C_2$  dan kapasitor  $C_3$  mengalami mode *charging*. Dengan adanya mode *charge – discharge* pada keempat kapasitor ini, terdapat *ripple* tegangan. Pada kapasitor  $C_1$  dan kapasitor  $C_2$  didapatkan *ripple* tegangan sebesar 0,34 V dengan nilai tegangan kapasitor sebesar 83 V dan 82 V. Pada kapasitor  $C_3$  dan kapasitor  $C_4$  didapatkan *ripple* tegangan sebesar 0,5 V dan 0,6 V dengan tegangan kapasitor sebesar 164 V.



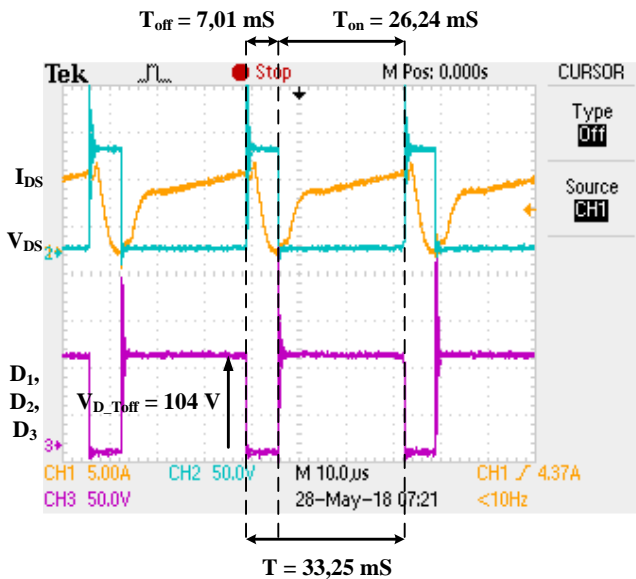
**Gambar 4.5** Bentuk Gelombang Kapasitor  $C_1$  dan Kapasitor  $C_2$



**Gambar 4.6** Bentuk Gelombang Kapasitor  $C_3$  dan Kapasitor  $C_4$

#### 4.2.4 Pengujian Tegangan Dioda D<sub>1</sub>, Dioda D<sub>2</sub>, dan Dioda D<sub>3</sub>

Pada pengujian tegangan dioda D<sub>1</sub>, dioda D<sub>2</sub>, dan dioda D<sub>3</sub> dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang pada dioda apakah sudah sesuai dengan simulasi atau tidak. Pada gambar dibawah didapatkan bentuk gelombang dioda D<sub>1</sub>, dioda D<sub>2</sub>, dan dioda D<sub>3</sub> yang memiliki karakteristik yang sama satu sama lainnya yang dibandingkan dengan tegangan *drain-source*. Pada kondisi sakelar tertutup, dioda D<sub>1</sub>, dioda D<sub>2</sub>, dan dioda D<sub>3</sub> berada pada mode *reverse-biased* sehingga dioda memiliki nilai tegangan sebesar 104 V. Pada kondisi sakelar dalam keadaan terbuka, dioda D<sub>1</sub>, dioda D<sub>2</sub>, dan dioda D<sub>3</sub> berada pada mode *forward-biased*. Nilai tegangan rata – rata ketiga dioda tersebut adalah 80 V. Dioda yang bekerja seperti sakelar dengan frekuensi 30 kHz menghasilkan bentuk gelombang seperti berikut:

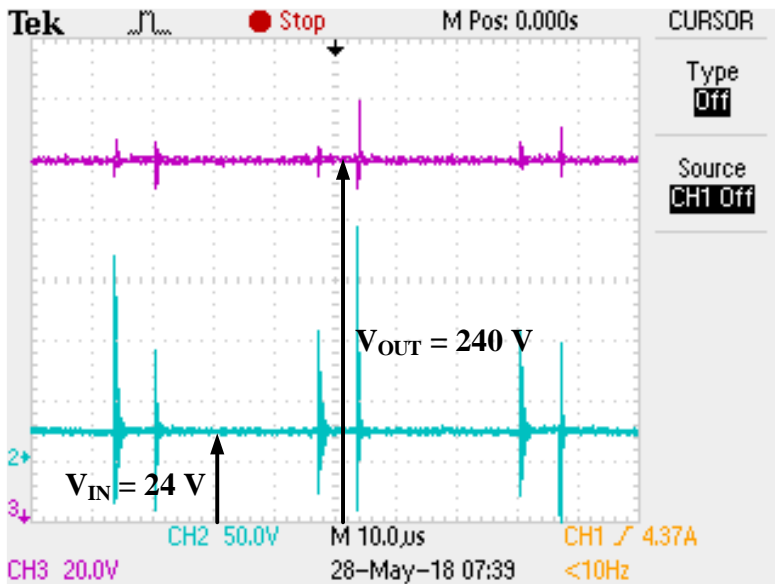


**Gambar 4.7** Bentuk Gelombang Tegangan Dioda D<sub>1</sub>, Dioda D<sub>2</sub>, dan Dioda D<sub>3</sub>

Dari data implementasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik bentuk gelombang dioda hasil implementasi sesuai dengan karakteristik gelombang dioda hasil simulasi.

#### 4.2.5 Pengujian Tegangan *Output* dan Tegangan *Input* Konverter

Pengujian tegangan *output* dan tegangan *input* bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang dan nilai dari tegangan *output* dibandingkan dengan hasil desain dan simulasi. Hasil pengujian ditunjukkan dengan gambar sebagai berikut:



**Gambar 4.8** Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Tegangan *Input*

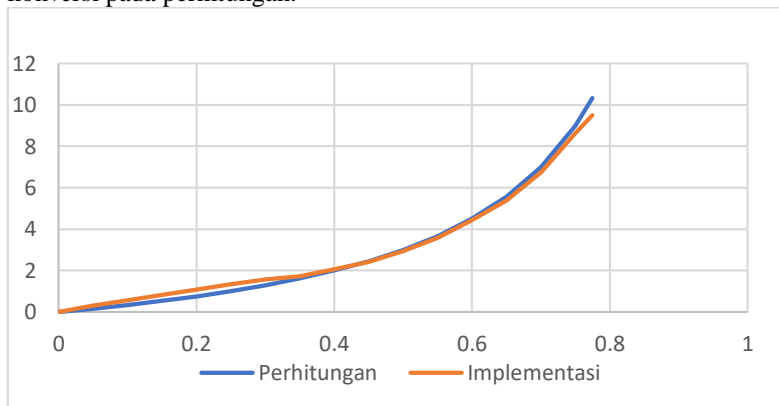
Dari pengujian didapatkan nilai tegangan *output* adalah 240 V. Nilai rasio konversi yang didapatkan adalah 10 kali dari nilai tegangan *input* yang bernilai sebesar 24 V. Nilai *ripple* tegangan *output* diketahui sebesar 0,8 V. Nilai *ripple* tegangan *output* dalam nilai persen adalah sebesar 0,33%, yang mana nilai tersebut cukup kecil. Nilai *ripple* tegangan *output* pada implementasi lebih besar dari *ripple* tegangan *output* pada desain dan simulasi dikarenakan adanya nilai hambatan

dalam pada setiap komponen yang menandakan ketidakidealan suatu komponen sehingga nilai *ripple* tegangan *output* lebih besar.

### 4.3 Pengujian Rasio Konversi

Pengujian rasio konversi bertujuan untuk mengetahui penguatan dari konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Pengujian dilakukan dengan menaikkan *duty cycle* pada tegangan *input* yang konstan. Rasio konversi merupakan perbandingan antara tegangan *output* dan tegangan *input* sehingga tegangan meningkat membentuk karakteristik rasio konversinya. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan *input* sebesar 24 V konstan dan *duty cycle* dinaikkan secara bertahap. Konverter dibebani dengan beban 576  $\Omega$ .

Gambar 4.9 menunjukkan grafik antara tegangan *output* dan *duty cycle* konverter. Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka terdapat perbedaan antara perhitungan dan hasil pengujian. Perbedaan ini dikarenakan adanya ketidakidealan komponen pada konverter. Pada komponen seperti induktor, dioda, kapasitor, MOSFET, memiliki nilai hambatan dalam, selain itu kapasitor dapat menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik sehingga menyebabkan rasio konversi pada implementasi berbeda dengan rasio konversi pada perhitungan.

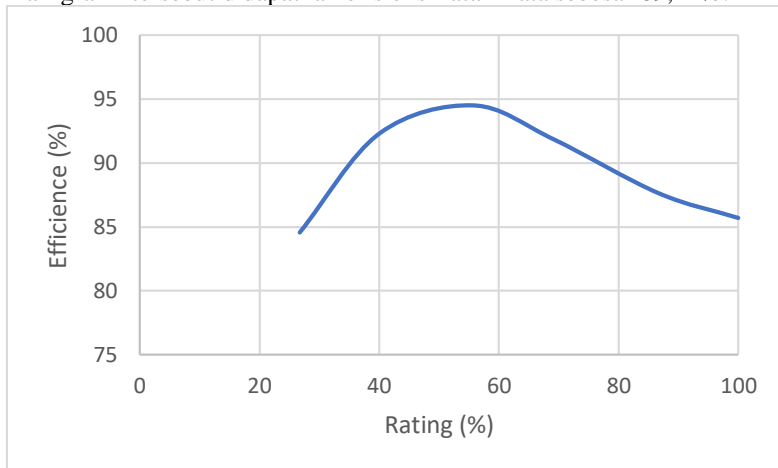


**Gambar 4.9** Grafik Rasio Konversi Konverter *Nonisolated Transformerless* DC-DC

#### 4.4 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi memiliki tujuan untuk mengetahui efisiensi konverter pada daya keluaran yang berbeda – beda. Pengujian efisiensi konverter yang dilakukan dengan tegangan *input* yang dijaga konstan pada tegangan 24 V. Tegangan *output* dijaga konstan pada tegangan 240 V dengan cara mengatur nilai beban. Pengujian beban dimulai dari 26% *rating* konverter hingga pada 100% *rating* konverternya. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan cara mengukur daya *output* dan daya *input* dengan menggunakan alat ukur yang sama.

Dari gambar 4.10 yang menunjukkan grafik efisiensi pada *rating* tertentu, dapat diketahui bahwa konverter *nonisolated transformerless* DC-DC dapat bekerja optimum pada 40% hingga 70% *rating* konverter. Hal ini ditunjukkan dengan nilai efisiensi pada *rating* tersebut memiliki efisiensi diatas 90%. Dari kurva pada gambar tersebut, didapatkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 94,5% pada pembebanan 55% *rating* konverter. Dari grafik tersebut didapatkan efisiensi rata – rata sebesar 89,44%.



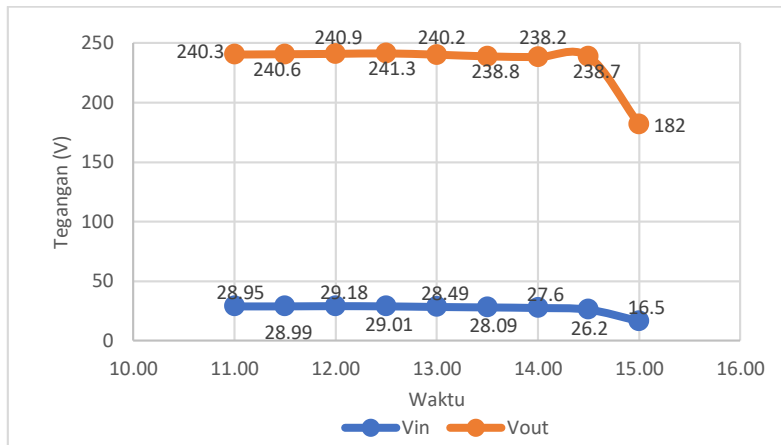
**Gambar 4.10** Grafik Efisiensi dan *Rating* Daya

#### 4.5 Pengujian Menggunakan Modul PV (*Photovoltaic*)

Pengujian menggunakan modul konverter bertujuan untuk mengetahui tegangan *output* konverter sehingga dapat diketahui respon konverter terhadap PV. Modul PV yang digunakan adalah modul PV pada pesawat UAV yang memiliki sebanyak 62 sel PV. Percobaan dilakukan



mulai pukul 11.00 hingga 15.00 dengan frekuensi pengambilan data selama 30 menit. Konverter diberikan beban sebesar 67 Watt.

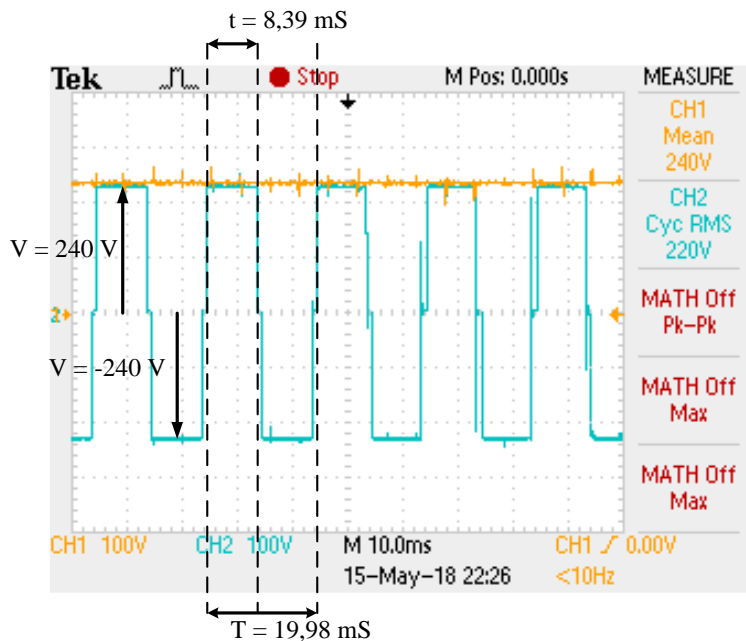


**Gambar 4.11** Grafik Pengujian Menggunakan Modul PV

Pada gambar diatas, didapatkan data bahwa pada pukul 11.00 hingga pukul 14.30 nilai tegangan *output* masih dapat menyuplai beban dengan baik. Namun, pada pukul 15.00, karena iradians berkurang sehingga nilai tegangan sedikit turun hingga tegangan 240 V. Pada pukul 15.00, dengan iradians sebesar 600, daya yang diberikan oleh PV tidak dapat memenuhi kebutuhan beban sehingga terjadi *drop* tegangan pada sisi *output*.

#### 4.6 Pengujian Inverter 1 Fasa *Single Pulse*

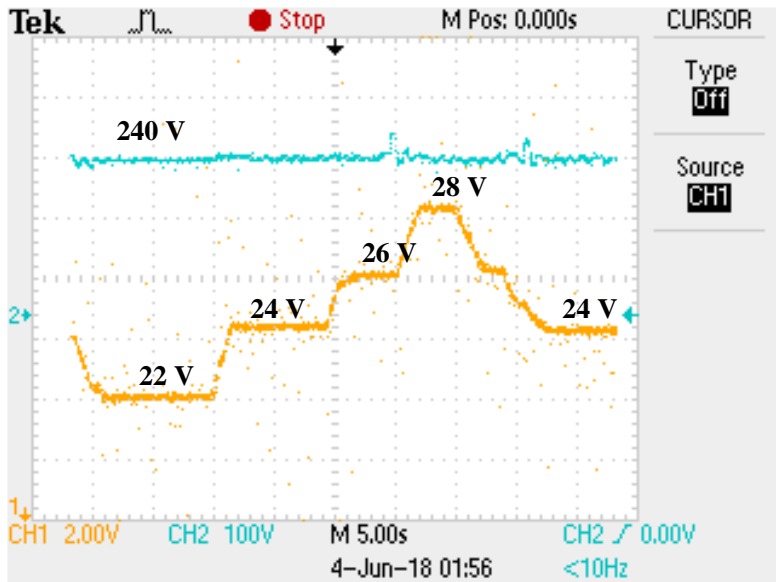
Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah perhitungan pada desain maupun simulasi sama dengan pada implementasi. Pada pengujian ini, tegangan *input* dari inverter merupakan tegangan *output* dari konverter *nonisolated transformerless* DC-DC. Nilai tegangan yang dihasilkan adalah 240 V. Dengan menggunakan persamaan pada desain dan implementasi, pada implementasi digunakan nilai  $t$  sebesar 8.39 mS atau total  $2t$  sebesar 16,78 mS. Nilai yang terukur melalui osiloskop adalah sebesar 220 VAC. Gambar 4.11 menunjukkan gelombang yang dihasilkan oleh inverter 1 fasa *single pulse* (pulsa tunggal).



**Gambar 4.12** Bentuk Gelombang Tegangan *Input* dan Tegangan *Output* Inverter 1 Fasa *Single Pulse*

#### 4.7 Pengujian Kondisi Dinamis

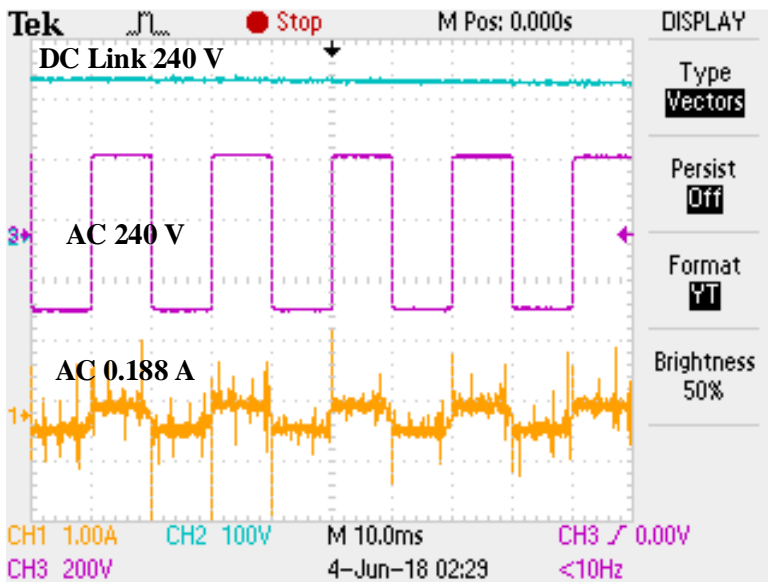
Pengujian dalam kondisi dinamis ditujukan untuk mengetahui bahwa konverter sudah dapat mempertahankan nilai tegangan *output* pada nilai tegangan 240 V. Metode pengujian dilakukan dengan merubah nilai tegangan *input*. Jika tanpa kontrol *duty cycle*, jika nilai tegangan *input* berubah, maka nilai tegangan *output* akan berubah pula. Oleh sebab itu, kontrol *duty cycle* harus mampu mempertahankan nilai tegangan *output* dengan respon yang cukup cepat sehingga dapat tetap menjaga nilai tegangannya. Gambar 4.13 menunjukkan hasil pengujian respon *duty cycle* akibat perubahan tegangan *input*.



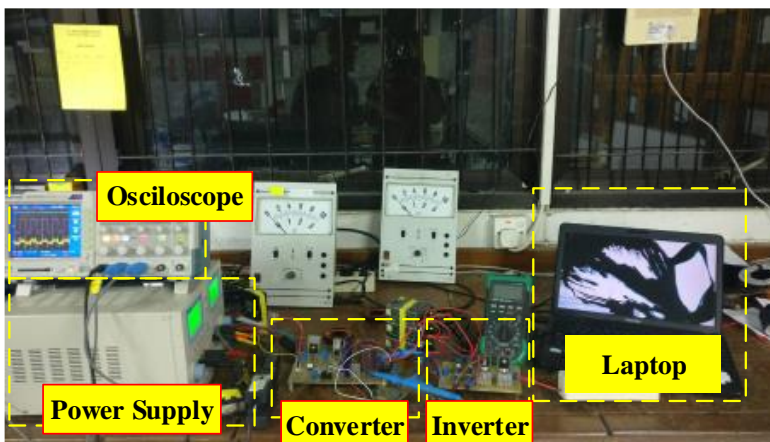
**Gambar 4.13** Pengujian tegangan input dinamis

#### 4.8 Pengujian pada Peralatan GCS

Salah satu peralatan yang ada pada GCS adalah laptop. Pengujian dilakukan dengan menggunakan konverter *nonisolated transformerless* DC – DC yang dihubungkan dengan inverter satu fasa *single pulse* dengan *output* inverter yang terhubung dengan *charger* laptop sebagai *supply* dari laptop. Gambar 4.14 merupakan hasil dari gambar tegangan DC link, tegangan inverter serta arus inverter. Serta pada gambar 4.15 merupakan pengujian yang dilakukan pada salah satu peralatan GCS yaitu laptop. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa konverter ini mampu digunakan sebagai catu daya untuk menyuplai peralatan GCS.



**Gambar 4.14** Hasil pengujian dengan beban laptop



**Gambar 4.15** Pengujian dengan beban laptop

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan melalui simulasi serta implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC sebagai catu daya peralatan GCS dapat disimpulkan menjadi beberapa hal berikut:

1. Implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC mampu menaikkan tegangan 24 V DC menjadi 240 V DC, sehingga nilai penguatan (*gain*) rangkaian adalah sebesar 10 kali pada kondisi pembebanan penuh (100W).
2. Konverter memiliki *gain* yang tinggi karena mampu menaikkan tegangan hingga 10 kali.
3. Aplikasi konverter pada sel *photovoltaic* perlu mempertimbangkan faktor *irradiance* serta suhu untuk meningkatkan efisiensi transfer energi pada *photovoltaic* menuju ke beban.
4. Efisiensi rata-rata dari implementasi konverter *nonisolated transformerless* DC-DC adalah 89,44 %.
5. Pada kondisi dinamis, konverter mampu mempertahankan tegangan outputnya pada tegangan 240 V. Tegangan *input* berubah – ubah dari nilai 22 V hingga 28 V.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Induktor  $L_1$  memiliki rugi – rugi yang cukup besar dikarenakan arus yang mengalir cukup besar, sehingga diperlukan penggunaan kawat yang memiliki resistansi rendah.
2. Komponen MOSFET IRFP 460 memiliki nilai resistansi yang cukup tinggi sehingga untuk penelitian selanjutnya diperlukan pemilihan sakelar MOSFET dengan mempertimbangkan faktor resistansi *drain-source*.
3. Konverter *nonisolated transformerless* DC – DC selanjutnya dapat di implementasikan dengan menggunakan MPPT.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R., B.M. and B.H.A. F., A Novel Structure for Single-Switch Nonisolated Transformerless Buck-Boost DC-DC Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2017. 64(1): p. 8.
- [2] R. Gules, "A Modified SEPIC Converter with High Static Gain," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 29, no. 11, pp. 5860-5871, 2014.
- [3] Poovarasan, P., M. Saraswathi, and R. Nandhini, Analysis of high voltage gain DC-DC boost converter for renewable energy applications, in *IEEE Conference Publications*. 2015. p. 5.
- [4] Hart, Daniel W. "Power Electronics". Valparaiso University Press, Indiana. Ch. 6, 2011.
- [5] Haque, S. R., & Kormokar, R. (2017). Drone Ground Control Station with Enhanced Safety Features, 1207–1210.
- [6] "Portable Ground Control Station", UAV FACTORY, 2012
- [7] Ashari, M.P.P.I.M., Sistem Konverter DC. 2012, Surabaya: ITS Press.
- [8] I. Dilianto, Desain dan Implementasi Konverter DC-DC Topologi Sepic Termodifikasi dengan Gain yang Tinggi untuk Aplikasi pada Photovoltaic, Surabaya: Teknik Elektro ITS, 2017.
- [9] "0077548a7", *MAGNETICS*, no.1, p. 77548, 2016
- [10] ETD 49/15/26 Core and Accessories, TDK, 2017
- [11] C. W. T. McLyman, Transformer and Inductor Design Handbook, Idyllwild, California, USA: Marcel Dekker, Inc, 1978.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN

### 1. List program inverter *single pulse*

```
Serial.begin(9600);

pinMode(9,OUTPUT);
pinMode(10,OUTPUT);
//phase and Frequency Correct PWM
TCCR1A = _BV(COM1A1)|_BV(COM1A0)|_BV(COM1B1);
TCCR1B = _BV(WGM13)|_BV(CS12);
ICR1 = 625;
OCR1A= 338;
OCR1B= 287;
}
```

### 2. List program PID

```
#include <PID_v1.h>

double Setpoint, Input, Output;
double Kp=0.02, Ki=0.8, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:

    pinMode(9,OUTPUT);
    pinMode(A1,INPUT);
    Serial.begin(9600);

    //phase and Frequency Correct PWM
    TCCR1A = _BV(COM1A1);
    TCCR1B = _BV(WGM13)|_BV(CS10);
    ICR1 = 267;
    OCR1A= 207 ;
    Serial.begin(9600);
    Input = analogRead(A1);
    Setpoint = 562;
```

```

myPID.SetMode(AUTOMATIC);
myPID.SetOutputLimits(70,213);
}

void loop() {
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
myPID.SetOutputLimits(70,213);
  // put your main code here, to run repeatedly:
Input = analogRead(A1);
myPID.Compute();
analogWrite(9, Output);
Setpoint = 562;
delay(500);
Serial.print("sensor = ");
Serial.print(analogRead(A1));
Serial.print("\t output = ");
Serial.println(Output);

}

```

### 3. List program *open – loop*

```

void setup()
{
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(9,OUTPUT);
}

void loop()
{
  //Pengaturan Frekuensi dan Duty Cycle
  TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(WGM11);
  TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
  ICR1 = 266;      //F = 16M / (2*266) => F = ~30k
  OCR1A = 207;
}

```

#### 4. Tabel kawat tembaga AWG

AWG	Diameter (mm)	Luas Area(mm <sup>2</sup> )	Arus (A)
1	7,350	42,4000	119
2	6,540	33,6000	94
3	5,190	21,2000	75
4	5,190	21,2000	60
5	4,620	16,8000	47
6	4,110	13,3000	37
7	3,670	10,6000	30
8	3,260	8,3500	24
9	2,910	6,6200	19
10	2,590	5,2700	15
11	2,300	4,1500	12
12	2,050	3,3100	9,3
13	1,830	2,6300	7,4
14	1,630	2,6300	5,9
15	1,450	1,650	4,7
16	1,290	1,3100	3,7
17	1,150	1,0400	2,9
18	1,024	0,8230	2,3
19	0,912	0,6530	1,8
20	0,812	0,5190	1,5
21	0,723	0,4120	1,2
22	0,644	0,3250	0,92
23	0,573	0,2590	0,729
24	0,511	0,4120	0,577
25	0,455	0,1630	0,457
26	0,405	0,1280	0,361
27	0,361	0,1020	0,288
28	0,321	0,0804	0,226
29	0,286	0,0646	0,182
30	0,255	0,0503	0,142

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Achmad Arifian Rachman biasa dipanggil Ivan, Fian, atau Arifian, lahir di Malang pada 7 Desember 1995. Penulis besar di Malang menempuh pendidikan formal dimulai dari tingkat dasar di SDN Lesanpuro IV Malang, pendidikan tingkat menengah di SMPN 5 Malang, pendidikan tingkat lanjut di SMAN 3 Malang, dan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Elektro FTE-ITS. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di kegiatan *event* jurusan maupun institusi, seperti pada kegiatan Electra 2015, Electra 2016, Electra 2017 dan YELP. Selain itu penulis juga mengikuti tim BATHARASURYA, sebuah tim kapal dari ITS yang terdiri atas mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan, Jurusan Desain Produk, dan Jurusan Teknik Elektro. Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS.